

**DESARROLLO COMPUTACIONAL DEL ALGORITMO PARA EL DISEÑO Y
ANÁLISIS DE CUBIERTAS METÁLICAS POR EL MÉTODO DE DISEÑO
POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD) E
IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO**

**JAIRO ALONSO CÁRDENAS ALMEYDA
NICOLÁS ANTONIO VERA MACÍAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**

**DESARROLLO COMPUTACIONAL DEL ALGORITMO PARA EL DISEÑO Y
ANÁLISIS DE CUBIERTAS METÁLICAS POR EL MÉTODO DE DISEÑO
POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD) E
IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO**

**JAIRO ALONSO CÁRDENAS ALMEYDA
NICOLÁS ANTONIO VERA MACÍAS**

**Proyecto de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director
DALTON MORENO GIRARDOT
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**

DEDICATORIA

A mis Padres y a mis hermanos.

A mi familia.

Jairo

DEDICATORIA

A mi Mamá y a mi Abuelita.

A toda mi familia.

Nicolás

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dalton Moreno Girardot, Ingeniero Civil, Profesor de la Universidad Industrial de Santander y Director del Proyecto de Grado.

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	
LISTA DE FIGURAS	
INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVOS	22
1.1 OBJETIVO GENERAL	22
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. METODOLOGÍA	26
3. TEORIA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS	27
3.1 CUBIERTAS METALICAS	27
3.1.1 Componentes de una cubierta metálica	29
3.2 ARMADURAS	30
3.2.1 Componentes de una armadura	31
3.2.2 Configuración y tipos de armaduras	34
3.3 DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD)	36
3.3.1 Factores de carga	39
3.3.2 Factores de resistencia	40
3.3.3 Análisis de fuerzas y cargas	41
3.3.3.1 Carga muerta	42
3.3.3.2 Carga viva	45
3.3.3.3 Fuerza de viento	45
3.3.3.4 Combinaciones de carga	50
3.4 DISEÑO DE MIEMBROS A TENSIÓN	51
3.4.1 Área neta	53
3.4.2 Área neta efectiva	55

3.4.3	Bloque de cortante	58
3.4.4	Selección de perfiles	60
3.4.5	Selección de barras	61
3.4.6	Conexiones	62
3.4.6.1	Conexiones atornilladas o pernadas	62
3.4.6.1.1	Clases de tornillos	62
3.4.6.1.2	Conexiones tipo fricción y tipo aplastamiento	63
3.4.6.1.3	Tipos de juntas atornilladas (transmisión de carga concéntrica)	63
3.4.6.1.4	Requisitos de separación y distancias a bordes	64
3.4.6.2	Conexiones por soldadura	66
3.4.6.2.1	Tipos de soldadura	66
3.5	DISEÑO DE MIEMBROS A COMPRESIÓN	68
3.5.1	Selección de perfiles	71
3.5.2	Longitud efectiva	73
3.5.3	Fórmula de Euler	78
3.5.4	Parámetro de esbeltez y relaciones de esbeltez máximas	79
3.5.5	Pandeo local	81
3.5.6	Resistencia de diseño a la compresión por pandeo flector	85
3.5.7	Resistencia de diseño a la compresión por pandeo flexo-torsor	86
3.5.8	Diseño de miembros sometidos a flexión y fuerza axial	91
3.5.8.1	Efecto de Flexo-compresión	92
4.	MANUAL DCMAC	94
4.1	DESCRIPCIÓN	94
4.2	ALCANCE	94
4.3	METODOLOGÍA	95
4.4	NOMENCLATURA PARA PROCEDIMIENTOS Y CÁLCULOS	96
4.5	ENTORNO VISUAL	106
4.5.1	Módulo Página principal	109
4.5.2	Módulo Tipos de armadura	109
4.5.3	Módulo Geometría del área a cubrir	111
4.5.3.1	Módulo Plano del área a cubrir	112

4.5.4	Módulo Tipos de teja	113
4.5.4.1	Módulo Vista de armadura	116
4.5.4.2	Módulo Teja seleccionada	119
4.5.4.3	Módulo Teja complementaria	120
4.5.5	Módulo Pendiente de la cubierta	122
4.5.6	Módulo Geometría de las armaduras	124
4.5.7	Módulo Ubicación de los nodos y los elementos	126
4.5.8	Módulo Presión de viento	128
4.5.8.1	Módulo Viento básico de diseño	130
4.5.9	Módulo Análisis de fuerzas en correas	131
4.5.9.1	Módulo Cargas y fuerzas de diseño de las correas	133
4.5.10	Módulo Geometría de correas	137
4.5.11	Módulo Diseño de correas	140
4.5.11.1	Módulo Geometría del perfil	147
4.5.11.2	Módulo Sección transversal de las correas	148
4.5.11.3	Módulo Cálculos para las correas	151
4.5.12	Módulo Análisis de fuerzas en armaduras	167
4.5.12.1	Módulo Estática de armadura de extremo	169
4.5.12.2	Módulo Estática de armadura intermedia	173
4.5.13	Módulo Diseño del cordón superior	178
4.5.13.1	Módulo Vista del cordón superior de armadura de extremo	181
4.5.13.2	Módulo Cálculos para el cordón superior de armadura de extremo	184
4.5.13.3	Módulo Vista del cordón superior de armadura intermedia	206
4.5.13.4	Módulo Cálculos para el cordón superior de armadura intermedia	209
4.5.14	Módulo Diseño del cordón inferior	231
4.5.14.1	Módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura de extremo	234
4.5.14.2	Módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura intermedia	239
4.5.15	Módulo Aprendiendo VBA	243
4.5.16	Mensajes de Error	244
4.6	SECUENCIA DE PROCEDIMIENTOS DE DCMAC PARA EL DISEÑO DE UNA CUBIERTA METÁLICA	248
4.7	CÁLCULOS Y PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO	249

4.7.1 Selección de la teja principal	249
4.7.2 Distribución de la teja principal	249
4.7.3 Selección de la teja complementaria	250
4.7.4 Cálculo de las presiones de viento	251
4.7.5 Cálculo de las cargas y fuerzas en las correas	252
4.7.5.1 Cálculo de la carga viva	253
4.7.5.2 Cálculo de la carga muerta	254
4.7.5.3 Cálculo de la fuerza de viento	255
4.7.5.4 Cargas y fuerzas sin amplificar	255
4.7.5.5 Cargas y fuerzas amplificadas	260
4.7.6 Cálculo de las cargas y fuerzas externas en las armaduras	262
4.7.6.1 Cálculo de la carga viva	263
4.7.6.2 Cálculo de la carga muerta	263
4.7.6.3 Cálculo de la fuerza de viento	265
4.7.6.4 Cargas y fuerzas sin amplificar	266
4.7.6.5 Cargas y fuerzas amplificadas	269
4.7.7 Cálculo de las fuerzas internas en los elementos de las armaduras	270
4.8 AYUDAS DE DCMAC	270
4.8.1 Tutor Virtual	271
4.8.2 VBA (Visual Basic for Applications)	271
4.8.3 Teoría de Estructuras Metálicas	273
4.8.4 Manual DCMAC	274
4.9 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	275
CONCLUSIONES	276
RECOMENDACIONES	279
BIBLIOGRAFÍA	280

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Factores de Resistencia característicos	41
Tabla 2. Valores mínimos de las densidades de masa reales de algunos materiales para el cálculo de las cargas muertas, según la NSR-98	44
Tabla 3. Valores de C_p para superficies inclinadas	47
Tabla 4. Valores de q en (kN / m^2)	48
Tabla 5. Valores de S_4	50
Tabla 6. Dimensiones nominales de perforaciones	54
Tabla 7. Distancias mínimas al borde	65
Tabla 8. Valores de K	77
Tabla 9. Valores límites de la relación ancho a espesor para elementos a compresión	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cubierta metálica que combina la estética con la funcionalidad	28
Figura 2. Cubierta metálica para protección de una cancha de tenis	28
Figura 3. Cubierta metálica para bodega	29
Figura 4. Ejemplo de armaduras	31
Figura 5. Componentes de una armadura	34
Figura 6. Tipos de armaduras para cubiertas	35
Figura 7. Coeficientes de Velocidad del viento	49
Figura 8. Planos posibles de falla para una placa	54
Figura 9. Cortante y tensión combinadas	59
Figura 10. Soldadura de filete	67
Figura 11. Longitud efectiva	74
Figura 12. Pandeo para diferentes condiciones de extremo	76
Figura 13. Influencia de la esbeltez	80
Figura 14. Posición del centro de cortante respecto al centroide de perfiles comunes.	87
Figura 15. Botón Tutor virtual	108
Figura 16. Botón VBA	108
Figura 17. Módulo Página principal	109
Figura 18. Módulo Tipos de Armadura	110
Figura 19. Módulo Geometría del área a cubrir	111
Figura 20. Módulo Plano del área a cubrir	113
Figura 21. Módulo Tipos de teja	114
Figura 22. Módulo Vista de armadura	116
Figura 23. Módulo Teja seleccionada	120
Figura 24. Módulo Teja complementaria	122
Figura 25. Módulo Pendiente de la cubierta	123

Figura 26. Módulo Geometría de las armaduras	124
Figura 27. Ubicación de los nodos y los elementos	128
Figura 28. Módulo Presión de viento	129
Figura 29. Módulo Viento básico de diseño	131
Figura 30. Módulo Análisis de fuerzas en correas	132
Figura 31. Módulo Cargas y fuerzas de diseño de las correas	133
Figura 32. Módulo Geometría de correas	137
Figura 33. Módulo Diseño de correas	140
Figura 34. Módulo Geometría del perfil	147
Figura 35. Módulo Sección transversal de las correas	148
Figura 36. Módulo Cálculos para las correas	151
Figura 37. Módulo Análisis de fuerzas en armaduras (1)	167
Figura 38. Módulo Análisis de fuerzas en armaduras (2)	168
Figura 39. Módulo Estática de armadura de extremo	170
Figura 40. Módulo Estática de armadura de intermedia	174
Figura 41. Módulo de diseño del cordón superior (1)	178
Figura 42. Módulo de diseño del cordón superior (2)	179
Figura 43. Módulo Vista del cordón superior de armadura de extremo	182
Figura 44. Módulo Cálculos para el cordón superior de armadura de Extremo	184
Figura 45. Módulo Vista del cordón superior de armadura intermedia	208
Figura 46. Módulo Cálculos para el cordón superior de armadura Intermedia	209
Figura 47. Módulo del cordón inferior (1)	231
Figura 48. Módulo del cordón inferior (2)	232
Figura 49. Módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura de extremo	234
Figura 50. Módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura intermedia	239
Figura 51. Módulo Aprendiendo VBA	243
Figura 52. Mensaje de Error 1	244
Figura 53. Mensaje de Error 2	245

Figura 54. Mensaje de Error 3	245
Figura 55. Mensaje de Error 4	246
Figura 56. Mensaje de Error 5	246
Figura 57. Mensaje de Error 6	247
Figura 58. Mensaje de Error 7	247
Figura 59. Cargas distribuidas sobre la correa	253
Figura 60. Cargas normales y tangenciales distribuidas en la correa	256
Figura 61. Cargas y fuerzas sobre la armadura	253
Figura 62. Ayuda Tutor virtual	271
Figura 63. Aplicaciones de VBA	272
Figura 64. Lenguaje VBA	273
Figura 65. Teoría de Estructuras Metálicas	274

RESUMEN

TÍTULO:

DESARROLLO COMPUTACIONAL DEL ALGORITMO PARA EL DISEÑO Y ANÁLISIS DE CUBIERTAS METÁLICAS POR EL MÉTODO DE DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD) E IMPLEMENTACIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO.*

AUTORES:

JAIRO ALONSO CÁRDENAS ALMEYDA,
NICOLÁS ANTONIO VERA MACÍAS.**

PALABRAS CLAVES:

LRFD, FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA, CUBIERTAS METÁLICAS, ESTRUCTURAS METÁLICAS, PROGRAMA.

DESCRIPCIÓN:

Este Proyecto consta de la definición y aplicación del método LRFD para el diseño de cubiertas metálicas; además, éstas se permiten diseñar en un programa denominado DCMAC, Diseño de Cubiertas Metálicas Asistido por Computador, el cual se creó a lo largo del Proyecto.

La teoría en la que se basa el método LRFD, la cual se acerca más a la realidad del comportamiento y solicitaciones finales de las estructuras, es la razón principal para que en la actualidad se prefiera este método para el diseño de las mismas estructuras. En DCMAC se analizan y diseñan cubiertas metálicas por LRFD y con sustentación en la NSR-98. DCMAC cuenta en su alcance con los tipos de armadura Pratt y Howe, el diseño de correas de sección transversal triangular y cordón superior e inferior de armaduras de extremo e intermedias, y el cálculo de las presiones de viento por medio del Análisis Simple. Además, en DCMAC se disponen diversas ayudas para la comprensión de las estructuras metálicas, el aprendizaje del diseño de cubiertas y la explicación de los cálculos y resultados que conlleva el diseño de una cubierta, entre otros.

Se puede apreciar a DCMAC como un programa didáctico y virtual para la enseñanza básica de estructuras metálicas, como una guía técnica para el diseño de las cubiertas metálicas y como un incentivo en los estudiantes de Ingeniería Civil por la aplicación de las herramientas computacionales en la solución de problemas en la misma ingeniería.

* Trabajo de grado en modalidad de investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ing. Dalton Moreno.

ABSTRACT

TITLE:

COMPUTATIONAL DEVELOPMENT OF THE ALGORITHM FOR THE ANALYSIS AND DESIGN OF METAL COVERS FOR THE METHOD OF LOAD AND RESISTANCE FACTORS DESIGN (LRFD) AND THE IMPLEMENTATION OF INTERFACE USE.*

AUTHORS:

JAIRO ALONSO CÁRDENAS ALMEYDA,
NICOLÁS ANTONIO VERA MACÍAS.**

KEY WORDS:

LRFD, LOAD AND RESISTANCE FACTORS, METAL COVERS, METAL FRAMES, SOFTWARE.

DESCRIPCIÓN:

This project consists of the definition and application of LRFD method for metal covers; besides, these allow the design on a program termed DCMAC, Computer Assisted-Metal Covers Design, which was created throughout the project.

The theory on which LRFD method is based, which is more approached to the true behavior and the final solicitudes of the structures, is the main reason for this method is presently preferred for the same design structures. In DCMAC, metal covers are analyzed and designed for LRFD and supported on NSR-98. DCMAC's scope counts on Pratt and Howe framework types, the seatbelts design of triangular and cross-sectional section and the upper and lower cord of the terminal and middle frameworks, and the wind pressure estimate through the Simple Analysis. Besides, in DCMAC several aid are arranged for the understanding of metal frameworks, the covering design learning and the explanation of the estimates and the results that imply a cover design, among others.

DCMAC can be viewed as a virtual and didactic software for metal frameworks basic teaching, as a technical guide for the metal covers design, and as a prompt for civil engineering students for the application of computational tools in the solving of problems within the engineering itself.

* Paper for the thesis, investigational mode.

** Physics-Mechanics Engineering faculty. Civil Engineering school. Engineer Dalton Moreno.

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Civil comprende diversos campos de acción; las estructuras de edificaciones, los suelos, las vías terrestres y el aprovechamiento de los recursos hídricos son tan sólo algunos de los muchos aspectos que conforman estos campos de acción. Debido a la gran cantidad de aspectos que conforman la Ingeniería Civil, es de esperarse que existan algunos más desarrollados que otros.

La investigación por medio de laboratorios y el consecuente planteamiento de ecuaciones ha sido una de las más importantes formas para alcanzar desarrollo, conllevando grandes avances en los criterios para los diseños pertinentes a la Ingeniería Civil; así mismo, cada vez son más los aspectos que se deben tener en cuenta en las aplicaciones de esta ingeniería. Sin embargo, el incremento de ecuaciones y aspectos a tener en cuenta en un diseño han conllevado problemas adicionales; cómo tener en cuenta simultáneamente todos los aspectos, las variables y las ecuaciones que conforman un diseño. La aplicación de las herramientas computacionales ha resuelto gran parte de este problema ya que por medio de ellas se han logrado optimizar los procesos mediante la agilidad, eficacia y precisión de los cálculos y procedimientos. Esta es la razón que demuestra la necesidad de implementar las herramientas computacionales a la par del progreso en la Ingeniería Civil.

El diseño de estructuras metálicas es uno de los campos en los cuales se han implementado grandes programas para su modelamiento pero muchos de ellos de aplicación tan amplia que resultan a la vez poco específicos para el diseño mismo.

Uno de los aspectos que conforman el diseño de estructuras metálicas es el diseño de cubiertas metálicas. En él, son pocos los programas que hayan sido

desarrollados y que sean de fácil alcance para los estudiantes y de directa aplicación al tema de las cubiertas metálicas; y ni siquiera se puede contemplar la idea que esos programas se puedan emplear como medios didácticos para la enseñanza.

Así, se ha propuesto por medio de este proyecto de grado la creación, el diseño, el desarrollo y la programación de un software para el diseño de cubiertas metálicas. Se ha optado por la aplicación del método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia debido a la preferencia de los autores del proyecto por este método y de la tendencia mundial a su aplicación cada vez más común y predominante sobre otros métodos de diseño.

En capítulos siguientes se contemplan la Teoría de Estructuras Metálicas necesaria para el diseño de una cubierta metálica y el Manual DCMAC, en el cual se dan a conocer y se explican todos los aspectos concernientes al software planteado.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollo computacional del algoritmo para el diseño y análisis de una cubierta metálica por el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD), basado en la norma NSR-98 y en la teoría de las Estructuras Metálicas vista en la asignatura.

Aclaración de conceptos:

- a. Entiéndase *algoritmo* como "Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema." (según Encarta). En este caso el algoritmo que se planteará estará encaminado a resolver el problema específico del Diseño y Análisis de una cubierta metálica.
- b. Entonces, entiéndase *desarrollo computacional del algoritmo* como la implementación del algoritmo mediante un programa de algún lenguaje de programación computacional; hemos escogido Visual Basic for Applications (VBA) en Excel debido a que lo conocemos, hemos trabajado en él y conocemos su alcance, el cual es suficiente para lo que necesitamos.
- c. Entiéndase *cubierta metálica* como el conjunto formado por elementos tales como cerchas, correas, tirantes y contravientos, que a su vez interactúan con las fuerzas ambientales y las cargas por peso propio y por las tejas que ellos soportan. El tipo de cubierta que se tratará será de conformación triangular.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Desarrollo de una guía virtual con el fin de servir como tutorial para los estudiantes al momento de diseñar y analizar una cubierta metálica.
 - a. Un *tutor virtual* guiará completa y cómodamente al estudiante a través de todos los procedimientos para el diseño y análisis de la *cubierta metálica*. Este *tutor virtual* mostrará los pasos que debe seguir el estudiante, las diferentes opciones que tiene a través de los procesos, los cálculos que se realizan y los resultados finales, dando a conocer por completo las teorías de las Estructuras metálicas aplicadas en los diversos procesos.
 - b. Este Desarrollo Computacional estará enfocado hacia el diseño de *cubiertas metálicas* por parte de los estudiantes, pero su alcance respecto a la teoría de estructuras metálicas y a la reglamentación legal (NSR-98) es tal que serviría de perfecta guía para cualquier profesional diseñador de cubiertas metálicas.
2. Desarrollo de una guía virtual con el fin de servir al profesor como medio didáctico para la enseñanza de la asignatura de Estructuras Metálicas.
 - a. El Desarrollo Computacional contendrá la temática de la asignatura de Estructuras Metálicas con el fin de que sirva de guía visual e interactiva al profesor y a los estudiantes en la clase.
 - b. El Desarrollo Computacional será:
 - i. Un medio didáctico efectivo: ya que se presentará como una herramienta que pueda ser utilizada como sustento a

la explicación de todos los temas vistos en clase y que permita una mejor comprensión de ella.

- ii. Preciso: debido a que los procesos iterativos del algoritmo a plantear permitirán llegar a los mejores resultados.
- iii. Ágil: porque los procesos al ser iterativos y automáticos permitirán llegar a los resultados en menor tiempo que al obtenerlos a través de las calculadoras convencionales, evitando además cometer los errores típicos por el uso de las mismas.

Se debe entender que el Desarrollo Computacional estará siempre enfocado hacia el entendimiento de la teoría de Estructuras Metálicas y sus alcances por parte de los estudiantes.

3. Implementación de la interfaz de usuario

Aclaración de conceptos:

- a. Entiéndase *interfaz de usuario* como un entorno a través de computadora que permite la entrada y salida de datos tanto textuales como gráficos, lo cual conlleva a la ejecución del algoritmo desarrollado y a la interacción con el usuario. Hemos escogido Excel debido a que brinda facilidades para la interacción visual.

- 4. Incentivo en los estudiantes de la aplicación de las herramientas computacionales como medio moderno, efectivo y práctico para la resolución de problemas en la Ingeniería Civil.

- a. A través del Desarrollo Computacional se mostrarán los procedimientos necesarios para la obtención del entorno o *interfaz de usuario* y de la implementación del algoritmo; así, mientras el estudiante aprende Estructuras Metálicas también se fundamentará en Lenguajes de Programación, que en este caso será Visual Basic for Applications (VBA) en Excel.

- b. El Desarrollo Computacional estará enfocado para que el estudiante pueda aplicar lo aprendido en él acerca de Lenguajes de Programación (específicamente VBA en Excel) en cualquier otro campo de la Ingeniería Civil.

2. METODOLOGÍA

Aplicación de la teoría de diseño de estructuras metálicas basado en el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) con sustentación de la Norma NSR-98.

El procedimiento para el diseño y análisis de una cubierta metálica ha sido consecuente con lo visto en la asignatura de Estructuras metálicas.

Programación por medio de Visual Basic (VB) para implementar el algoritmo y permitir entradas y salidas de datos gráficos y textuales necesarios para el diseño y análisis de la cubierta metálica.

3. TEORIA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

La temática de estructuras metálicas es muy amplia en contenido como en aplicación. Una de estas aplicaciones son las cubiertas metálicas y la teoría que describe su diseño se muestra a continuación.

3.1 CUBIERTAS METALICAS

Para el propósito del área de las estructuras metálicas, *cubierta metálica* es el término que hace referencia al conjunto formado por elementos metálicos de carácter estructural y que junto a elementos de otros materiales conforman la cubierta o “techo” de un edificio, una casa o una bodega entre otras edificaciones.

Su principal función es la protección de los elementos que contendrá la edificación, como los enseres propios de ella y las personas, contra los eventos ambientales, como la lluvia y el sol, principalmente. Para evacuar el agua que cae sobre ella, la cubierta metálica debe tener un declive o pendiente.

Además del uso conocido de las cubiertas metálicas en casas, edificios y bodegas, también se usan en estadios y en canchas de tenis para dar sombra a las tribunas y hasta para proteger el campo de juego contra lluvia, sol y hasta nieve. En general, el uso de las cubiertas metálicas es diverso y puede ser necesario en muchas circunstancias y depender tanto de la normatividad que rija la construcción como del ingenio del diseñador.

Figura 1. Cubierta metálica que combina la estética con la funcionalidad



Figura 2. Cubierta metálica para protección de una cancha de tenis

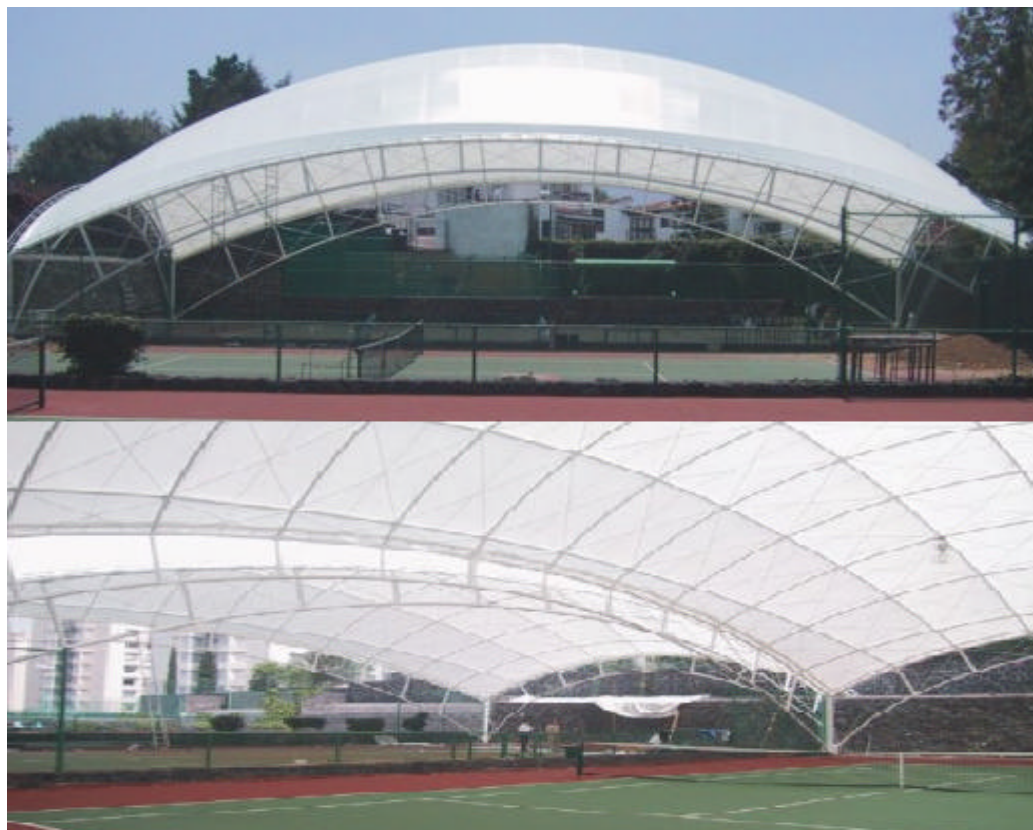


Figura 3. Cubierta metálica para bodega



3.1.1 Componentes de una cubierta metálica

Los componentes y la función básica de los que generalmente conforman una cubierta metálica son:

1. Tejas: elementos de diversos materiales que impiden el paso de los eventos ambientales como la lluvia.
2. Correas: elementos que reciben la carga por efectos de las fuerzas ambientales y por peso propio de las tejas, y la transmiten a las armaduras; además conforman el “esqueleto” de apoyo de las tejas.
3. Armaduras: sistemas de elementos que reciben la carga que viene por las correas y la transmiten a los apoyos (columnas o muros).

4. Tirantes: elementos que ayudan a evitar el pandeo de los elementos sometidos a compresión.
5. Contravientos: elementos que ayudan a evitar el efecto de succión sobre las tejas.

También es importante mencionar que *nave* es el término utilizado para referenciar el espacio existente entre dos armaduras seguidas.

3.2 ARMADURAS

Una armadura es una estructura plana que consta de elementos rectos conectados en los nodos formando triángulos o conjuntos de triángulos; los miembros de una armadura se unen solamente en sus extremos, es decir, un miembro no puede ser continuo a través de un nodo.

Cada armadura puede ser tratada como estructura bidimensional debido a que se diseña para soportar cargas que ejercen fuerza en su propio plano.

Debido a que los miembros de las armaduras son por lo general de sección delgada, no pueden soportar grandes cargas aplicadas en puntos diferentes a los nodos, por lo tanto las cargas deben aplicarse siempre sobre los nodos y nunca sobre alguna otra sección del miembro. Para efectos de cálculo se considera que el peso de los elementos de una armadura está aplicado sobre los nodos; la mitad del peso del miembro actúa sobre cada uno de los dos nodos correspondientes.

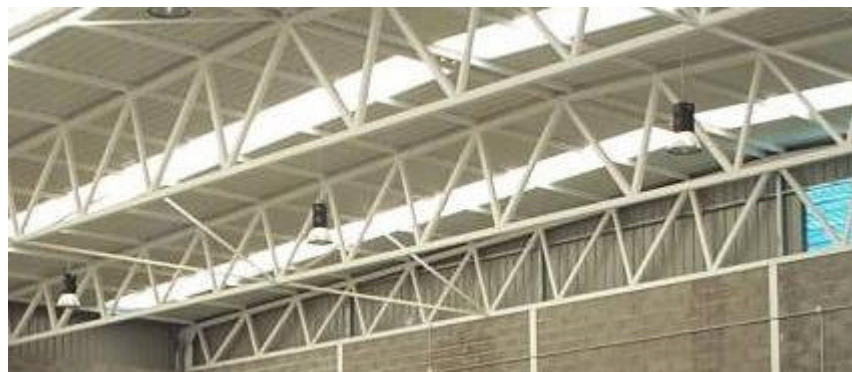
Los miembros de las armaduras son conectados entre sí a través de placas de conexión, pernos y/o soldadura, formando conexiones rígidas y teniendo en cuenta que la estabilidad de una armadura no debe depender de la rigidez de sus juntas. Se acostumbra suponer, y además en lo posible, construir los

miembros de la armadura de tal forma que al unirlos, sus respectivos ejes se intersecten en un punto común, de tal forma que las fuerzas en cada extremo se reducen a una fuerza única, lo que no permite la formación de momentos respecto al punto de unión. Así la transmisión de cargas será longitudinal o axial a través de cada miembro por lo que se considera que ellos sólo están sometidos a esfuerzos de tensión o compresión.

Las armaduras son soportadas generalmente sólo en sus extremos por muros o columnas de concreto o metálicas, mediante apoyos de primer o segundo grado pero en ningún caso empotrado.

Las armaduras se emplean generalmente cuando el claro es demasiado grande como para poder usar económicamente vigas de perfiles laminados o vigas armadas, para soportar techos de edificios o en puentes para carreteras o ferrocarriles.

Figura 4. Ejemplo de armaduras



3.2.1 Componentes de una armadura

Generalmente una armadura está constituida por:

- a. Cordón superior: es el conjunto más alto de elementos en línea que va de un apoyo al otro pasando por la cumbrera.

- b. Cordón inferior: es el conjunto más bajo de elementos en línea que va de un apoyo a otro.
- c. Miembros del alma: son los elementos que unen el cordón superior al inferior, y dependiendo de su grado de inclinación se clasifican en:
 - I. Parales o verticales: son los elementos que forman un ángulo recto respecto a una horizontal.
 - II. Diagonales: son los elementos con una inclinación a partir de una horizontal.
 - III. Pendolón: es el elemento que une al cordón superior e inferior con el fin de evitar el efecto de catenaria en elementos como los tensores.
- d. Tensor: es el elemento diseñado para soportar exclusivamente esfuerzos de tensión; generalmente es ubicado en forma horizontal.
- e. Juntas, nudos o nodos: son los puntos de conexión entre los elementos de los cordones y los miembros del alma.
- f. Junta de talón: es el punto de conexión en el apoyo de una armadura triangular.
- g. Cumbreira: es el punto de conexión en el pico más alto del cordón superior.

Otras características importantes para distinguir en las armaduras son:

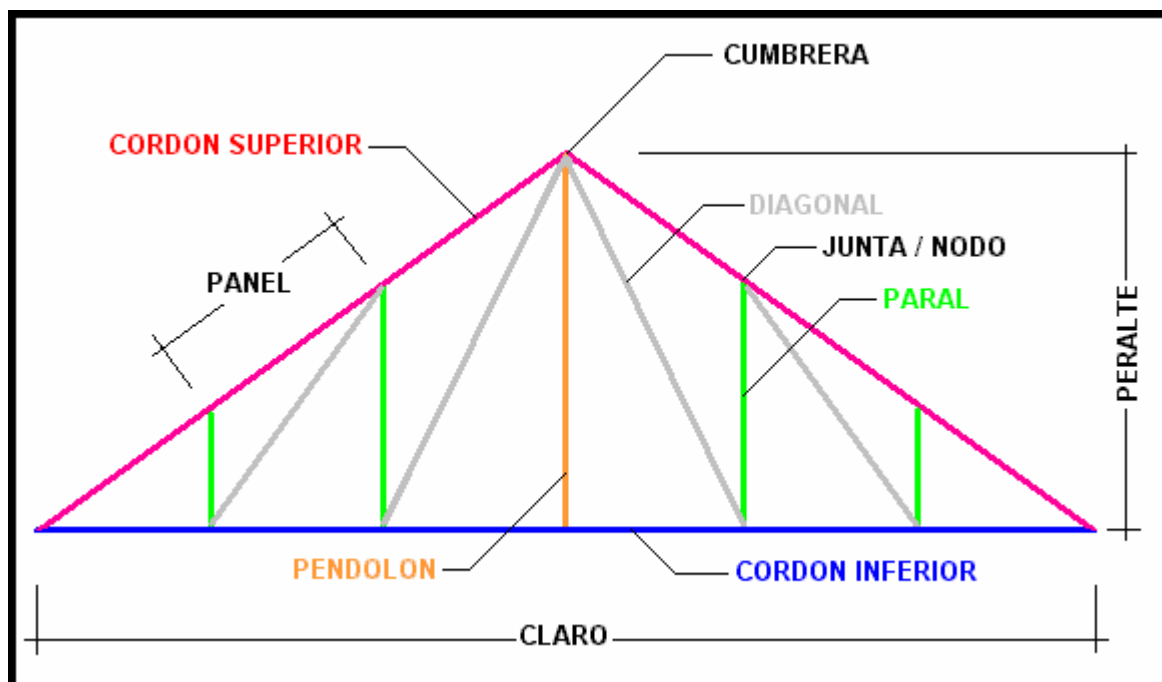
- a. Claro: es la distancia entre los nodos más extremos. Si la armadura está soportada sobre muros, se considera que el claro va de centro a centro

de los apoyos en los muros; si la armadura forma un marco con columnas en los extremos, se considera que el claro es la distancia entre las caras exteriores de las columnas.

- b. Peralte: es la distancia vertical que va desde el nivel de los apoyos hasta la cumbrera.
- c. Panel: es la porción de la armadura comprendida entre dos nodos consecutivos del cordón superior.
- d. Inclinación: Existen varias formas para expresar la inclinación de una armadura triangular:
 - I. Como la relación entre el peralte y el claro; por ejemplo, una inclinación de un cuarto ($1/4$) quiere decir que el peralte es un cuarto de lo que mide el claro ó que el claro es 4 veces la medida del peralte.
 - II. Como el ángulo que forma el cordón superior con una horizontal; por ejemplo, 30° . Esta es una forma muy común para la notación de la inclinación.
 - III. Cuando la armadura es simétrica, se le llama base a la mitad del claro, y la inclinación es la relación entre el peralte y la base, por lo general en pulgadas. A esta notación de inclinación se denomina *pendiente*; por ejemplo, una pendiente 6:12 quiere decir un peralte de 6 pulg. y una base de 12 pulg. En la conformación de una cubierta metálica, la inclinación de las armaduras que la componen definirán si la cubierta se considera como plana o inclinada; para una pendiente menor de 2:12 se dice que es plana.

- IV. En porcentaje. Se refiere a la relación entre el peralte y la base multiplicada por cien. Por ejemplo, si el peralte es de 4 metros y la base es de 10 metros, la pendiente será 40%.

Figura 5. Componentes de una armadura



3.2.2 Configuración y tipos de armaduras

Un principio importante para la configuración de las armaduras es que el triángulo es el único polígono cuya forma es incapaz de modificarse sin antes cambiar la longitud de uno o más miembros. Por esta razón es que las armaduras están conformadas principalmente por un sistema de triángulos.

Según su configuración, una armadura puede ser:

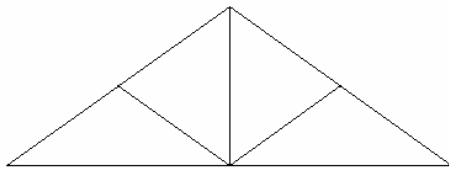
- a. Completa: se denomina así cuando la armadura formada por un sistema de sólo triángulos lo hace con el número mínimo de miembros para ello.

- b. Incompleta: se denomina así cuando faltan miembros para conformar un sistema de sólo triángulos. Aunque para un sistema de cargas simétricas esta configuración puede resultar estable, se considera por lo general como inestable y debe evitarse.
- c. Redundante: se denomina así cuando la armadura formada por un sistema de sólo triángulos lo hace con un número mayor al mínimo de miembros para ello.

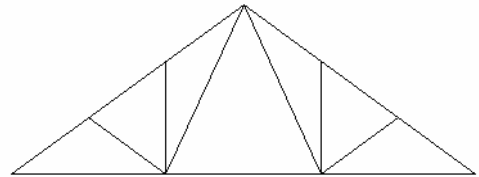
En la siguiente figura se muestran diversos tipos de armaduras para cubiertas.

Figura 6. Tipos de armaduras para cubiertas

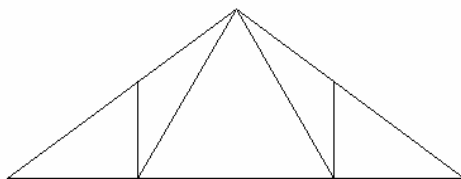
a) *De montante maestro*



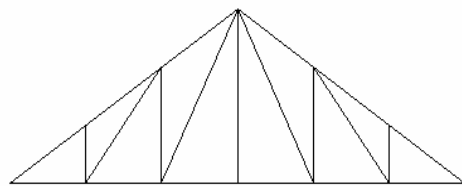
b) *Abanico simple*



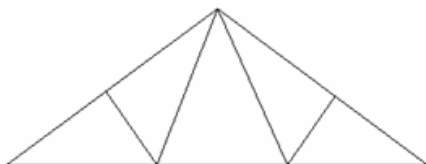
c) *Pratt (4 paneles)*



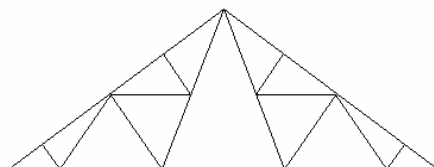
d) *Pratt (6 paneles)*



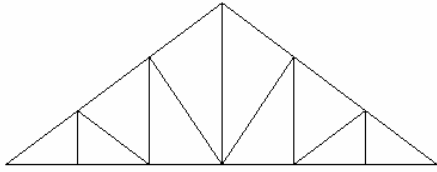
e) *Fink simple*



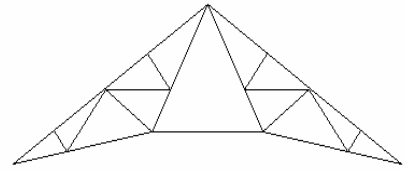
f) *Fink (8 paneles)*



g) Howe (6 paneles)



h) Fink de cuerda inferior contraflexada



Otros tipos de armaduras para cubiertas son:

- Belga
- Pratt de cuerdas paralelas
- Howe de cuerdas paralelas
- Warren
- De tijera simple
- De tijera modificada
- De tijera Polonceau
- A cuatro aguas
- Media luna

3.3 DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD)

El diseño de estructuras metálicas se basa en el comportamiento elástico y/o plástico del acero. Durante muchos años se han diseñado estructuras con especificaciones que se basan en el comportamiento elástico, llamando cargas de servicio o de trabajo a las cargas que actuarán sobre la estructura y diseñando los elementos de la estructura con esfuerzos llamados admisibles, los cuales mantienen el acero en el rango elástico ante la sollicitación de esas cargas.

Diversos estudios han demostrado que un diseño basado en métodos plásticos podría ser más válido debido a que el esfuerzo de fluencia del acero está considerablemente muy por debajo de su esfuerzo último o esfuerzo de colapso, es decir, el acero puede soportar un gran esfuerzo aún después de haber alcanzado su esfuerzo de fluencia.

En el diseño a través de métodos plásticos, las cargas de servicio son multiplicadas por un factor de carga o sobrecapacidad, y los esfuerzos de diseño estarán muy cercanos al esfuerzo de colapso o resistencia última.

La normatividad colombiana para el diseño y construcción, la NSR-98, contempla dos métodos de diseño estructural:

- a. El método de Diseño por Esfuerzos Permisibles (*ASD, Allowable Stress Design*).
- b. El método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (*LRFD, Load and Resistance Factor Design*) ó Diseño para Estados Límites como es llamado en la NSR-98.

El método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia se basa en los *estados límite*, los cuales son los estados en que la estructura o parte de ella alcanza la falla o cuando el servicio para el que fue construida ya no puede ser dado. Así, se pueden diferenciar dos estados límite:

- a. Estado límite de Resistencia: se basa en la seguridad o capacidad de carga teniendo en cuenta las resistencias plásticas y los fenómenos de pandeo, fractura, fatiga, etc.
- b. Estado límite de Servicio: se basa en el comportamiento de la estructura bajo la sollicitación de cargas de servicio teniendo en cuenta las deflexiones excesivas, deslizamientos, vibraciones, agrietamientos y

demás aspectos que tengan que ver con el uso y la ocupación de la estructura.

Este método contempla que una estructura se diseñará para que no colapse ante la máxima sollicitación de carga esperada pero, que también cumpla en todo momento y adecuadamente con el servicio que presta ante las cargas de servicio comunes. Así, una cubierta metálica podrá presentar algunos daños menores en el momento en que se presente la máxima tormenta esperada en su vida útil, pero deberá cumplir con todas las funciones para las cuales se diseñó sin sobresaltos en la estructura misma ante la sollicitación de las demás cargas en todo momento. Otro ejemplo puede ser el de una viga bajo la que existe una puerta, la cual se diseñará para que además de soportar cargas permita que sus deflexiones no impidan el movimiento de la puerta; pero llegado el caso en que la viga sea sobrecargada con un evento máximo, no llegue al colapso o permita la reparación de la estructura.

El método LRFD tiene como prioridad los estados límite de resistencia debido a que la seguridad pública no se deja a consideración del diseñador, y permite un poco de libertad al diseño respecto a los estados límite de servicio pero siempre teniéndolos en cuenta.

Para el diseño de un elemento en particular, el método LRFD contempla una variación de los efectos de las cargas (aumento por lo general) y de la resistencia del elemento (comúnmente reducción), así:

$$\sum (I_i * Q_i) \leq \phi * R_n$$

Donde:

I_i : Factor de carga o sobrecapacidad.

Q_i : Efecto de las cargas.

f : Factor de resistencia.

R_n : Resistencia nominal.

El método LRFD basa parte de su teoría en el análisis estadístico de una muestra muy significativa de estructuras metálicas diseñadas con diferentes especificaciones del AISC, *American Institute of Steel Construction*. A partir de este análisis estadístico, se decidieron determinados porcentajes de confiabilidad para diferentes situaciones acerca del diseño y la construcción de las estructuras metálicas. Y finalmente se calcularon los factores de resistencia que conllevan a obtener esos porcentajes de confiabilidad. Por ejemplo, si del análisis estadístico de la muestra de estructuras metálicas se llegó a la conclusión que un adecuado porcentaje de confiabilidad para determinado aspecto del diseño como puede ser el diseño por tensión, podría ser 99.7 %, entonces se calculó el factor de resistencia que lleva a que el 99.7 % de las estructuras diseñadas por tensión con este factor sean confiables, lo que significa que el comportamiento de estas estructuras está por debajo de los estados límite y sólo un 0.3 % de ellas alcanzan o superan los estados límite sin significar necesariamente que alcanzan la falla.

La ventaja principal del método LRFD es la contemplación más realista de los fenómenos que afectan a las estructuras metálicas (como la variabilidad de la aplicación de diferentes tipos de cargas, ya que probablemente no todas actúan al mismo tiempo) y del comportamiento y capacidad de carga de las mismas estructuras, conllevando en algunas circunstancias a diseños más económicos, sin ser la economía el objetivo principal.

3.3.1 Factores de carga

Los factores de carga son coeficientes que tienen en cuenta la desviación que existe entre las cargas nominales con respecto a las cargas reales a las que se encuentra sometido un elemento estructural, y su función es incrementarlas

teniendo en cuenta la incertidumbre que existe al calcular las magnitudes tanto de las cargas vivas como de las cargas muertas y su transformación en los efectos internos de los elementos.

Las magnitudes de los factores de carga varían según el tipo de combinación y generalmente son mayores que 1.0.

3.3.2 Factores de resistencia

Los factores de resistencia, también llamados coeficientes de reducción de resistencia, tienen en cuenta la desviación que existe entre la resistencia real y la resistencia nominal del elemento estructural, además de la incertidumbre en las dimensiones y en la mano de obra.

Los coeficientes de resistencia varían dependiendo de la forma y consecuencia según el tipo de falla y sus valores son generalmente menores que 1.0.

Para hallar la resistencia de diseño, la resistencia nominal del elemento estructural se multiplica por un factor de resistencia (ϕ); los valores de los coeficientes para columnas son 0.85, para miembros a tensión son 0.75 o 0.90 y para la flexión o el corte de vigas 0.90. A continuación se muestran los valores de los factores de resistencia característicos.

Tabla 1. Factores de Resistencia característicos

Factores de Resistencia (F)	Situaciones
1	Aplicación en áreas proyectantes de pasadores, fluencia del alma bajo cargas concentradas, cortante en tornillos junta tipo fricción
0,9	Vigas sometidas a flexión y corte, filetes de soldadura con esfuerzos paralelos al eje de la soldadura, soldaduras de ranura en el metal base, fluencia de la sección total de miembros a tensión.
0,85	Columnas, aplastamiento del alma, distancias al borde y capacidad de aplastamiento en agujeros
0,8	Cortante en el área efectiva de soldaduras de ranura con penetración completa, tensión normal al área efectiva de soldaduras de ranura con penetración parcial
0,75	Tornillos a tensión, soldaduras de tapón o muesca, fractura en la sección neta de miembros sometidos a tensión
0,65	Aplastamiento en tornillos (diferentes al tipo A307)
0,6	Aplastamiento en cimentaciones de concreto

3.3.3 Análisis de fuerzas y cargas

Para realizar el diseño de una estructura es importante conocer con precisión las cargas y las fuerzas a las cuales va a estar sometida durante su vida útil o rango de diseño.

Hacen parte del conjunto de cargas y fuerzas todas aquellas solicitaciones tales como el peso propio de la estructura, el peso de sus ocupantes, los

efectos ambientales como la lluvia, el viento, el sismo, etc.; que para fines del diseño se clasifican en *cargas muertas*, *cargas vivas* y *fuerzas ambientales*. Después de calcular las magnitudes de las cargas y de las fuerzas es necesario evaluar las diferentes combinaciones de cargas con el fin de obtener la más desfavorable que finalmente es la tenida en cuenta para el diseño de la estructura.

3.3.3.1 Carga muerta

La carga muerta es aquella que para efectos de análisis y diseño estructural permanece fija y cuya magnitud es constante, además es una carga gravitacional cuya línea de acción es vertical; la carga muerta se compone del peso propio de la estructura y demás cargas que hacen parte de ella permanentemente.

Teniendo en cuenta el criterio anterior, para el diseño de una cubierta metálica es necesario evaluar la carga muerta por peso de la teja y su respectivo caballete, peso de las correas, los tirantes, los contravientos, las armaduras, la iluminación, las tuberías para conexiones eléctricas, canaletas para desagüe, etc.

Para estimar la magnitud de la carga muerta es necesario hacer un estudio de los materiales y de las dimensiones que conforman la estructura; de este modo, para una cubierta metálica la carga muerta por el peso de la teja variará si esta es plástica, de fibrocemento o de cualquier otro material, también lo hará según su área y su espesor. Para los cálculos de peso propio de armaduras, de correas, de tirantes y de contravientos, es necesario tener en cuenta el tipo de acero u otro material con su respectiva densidad, el área de la sección transversal y demás dimensiones que permitan acercar el cálculo de las cargas a un valor real con el objetivo de lograr un diseño satisfactorio.

En la tabla 2. se dan algunos valores mínimos de densidades para el cálculo de la carga muerta. Para el uso de esta tabla debe tenerse en cuenta que dentro del Sistema de Unidades Internacional (SI), el kg (kilogramo) es una unidad de masa, por lo tanto, para calcular la carga muerta debida a los efectos gravitacionales que actúan sobre la masa de los materiales, la densidad presentada en la tabla debe multiplicarse por la aceleración debida a la gravedad ($g = 9.8 \text{ m/s}^2 \sim 10 \text{ m/s}^2$) para obtener pesos específicos en N/m^3 (Newton por metro cúbico).

Tabla 2. Valores mínimos de las densidades de masa reales de algunos materiales para el cálculo de las cargas muertas, según la NSR-98

MATERIAL	DENSIDAD	MATERIAL	DENSIDAD
Acero	7800 kg/m ³	Madera, densa, seca	750 kg/m ³
Agua dulce	1000 kg/m ³	Madera, densidad baja, seca	450 kg/m ³
Agua marina	1030 kg/m ³	Madera, densidad media, seca	600 kg/m ³
Aluminio	2700 kg/m ³	Mampostería de ladrillo hueco	1300 kg/m ³
Asfalto	1300 kg/m ³	Mampostería de ladrillo macizo	1800 kg/m ³
Baldosín cerámico	2400 kg/m ³	Mampostería de piedra	2200 kg/m ³
Cal, hidratada, compacta	730 kg/m ³	Mampostería de concreto	2150 kg/m ³
Cal, hidratada, suelta	500 kg/m ³	Mortero de inyección para mampostería	2250 kg/m ³
Carbón (apilado)	800 kg/m ³	Mortero de pega para mampostería	2100 kg/m ³
Cobre	9000 kg/m ³	Plomo	11400 kg/m ³
Concreto reforzado	2400 kg/m ³	Tierra: Arcilla y grava, seca	1600 kg/m ³
Concreto simple	2300 kg/m ³	Tierra: Arcilla, húmeda	1750 kg/m ³
Enchape Arenisca	1350 kg/m ³	Tierra: Arcilla, seca	1000 kg/m ³
Enchape Granito	1550 kg/m ³	Tierra: Arena y grava, húmeda	1900 kg/m ³
Enchape Mármol	1500 kg/m ³	Tierra: Arena y grava, seca apisonada	1750 kg/m ³
Escoria	1550 kg/m ³	Tierra: Arena y grava, seca, suelta	1600 kg/m ³
Hielo	920 kg/m ³	Tierra: Limo, húmedo, apisonado	1550 kg/m ³
Ladrillo de arcilla, absorción baja	2000 kg/m ³	Tierra: Limo, húmedo, suelto	1250 kg/m ³
Ladrillo de arcilla, absorción media	1850 kg/m ³	Vidrio	2560 kg/m ³
Ladrillo de arcilla, absorción alta	1600 kg/m ³	Yeso suelto	1150 kg/m ³
Madera, laminada	600 kg/m ³	Yeso, tablero para muros	800 kg/m ³

3.3.3.2 Carga viva

La carga viva es gravitacional y a diferencia de la carga muerta, varía espacialmente y su magnitud no es constante, además es debida al uso, ocupación o mantenimiento de la estructura.

La Norma NSR-98 estipula valores mínimos según el uso de la estructura. Siendo de nuestro interés una cubierta metálica, los valores por carga viva son los siguientes:

Cubiertas inclinadas de estructuras metálicas:

- Si la pendiente es mayor del 20%:

$$L_r = 0.35 \text{ kN/m}^2$$

- Si la pendiente es menor del 20%:

$$L_r = 0.50 \text{ kN/m}^2$$

Donde:

L_r : Carga viva para cubiertas

3.3.3.3 Fuerza de viento

Además de la carga muerta por peso propio, por peso de la teja y de la carga viva para cubiertas, generalmente en Colombia las cubiertas metálicas se diseñan teniendo en cuenta la fuerza de viento y su variación según la zona geográfica, la altura sobre el nivel del mar, etc.

A continuación se describe el procedimiento para calcular la fuerza de viento sobre una cubierta metálica según la NSR-98. Para las demás estructuras es necesario acudir directamente a la misma norma. Tal como lo menciona la

norma, cuando existan datos experimentales, obtenidos en túneles de viento, pueden usarse en lugar de los especificados a continuación, siempre y cuando reciban la aprobación de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.

Entre las generalidades respecto a la fuerza de viento es necesario tener en cuenta que las cargas producidas por el viento deben aplicarse en cualquier dirección, y el sistema estructural de la edificación debe ser capaz de transferir a la cimentación las fuerzas producidas por el viento.

La NSR-98 contempla dos métodos para establecer la fuerza de viento: el Análisis simple y el Análisis completo. Si al evaluar los efectos producidos por las fuerzas de viento con el análisis simple se encuentra que éstos no son fundamentales en el diseño, se puede adoptar el Análisis simple como válido; por el contrario, si las fuerzas de viento en algún sentido resultan determinantes, el diseño deberá regirse por el Análisis completo.

Debido a la complejidad que conlleva realizar un análisis completo para el cálculo de la fuerza de viento sobre una cubierta metálica, a continuación se explica el análisis simple que consiste en suponer que las presiones de viento se aplican uniformemente a las superficies de barlovento de la teja y que pueden proceder de cualquier dirección. La expresión para el cálculo de dichas presiones es la siguiente.

Presión producida por el viento:

$$p = C_p \cdot q \cdot S_4 \left(\frac{kN}{m^2} \right)$$

Donde:

p : Presión producida por el viento

C_p : Coeficiente de presión

q : Presión dinámica del viento

S_4 : Coeficiente que tiene en cuenta la densidad del aire

En el desarrollo de la ecuación de la presión producida por el viento hay que tener en cuenta la tabla 3. para el cálculo del coeficiente de presión (C_p). Esta tabla indica los valores en las direcciones de barlovento y sotavento según la inclinación de la cubierta en grados. También es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para pórticos a dos aguas, al considerar el viento soplando paralelamente a la cumbrera:

$$C_p = -0.6$$

- Para los edificios con uno o más lados abiertos se debe añadir -1.0 a los valores negativos de C_p que aparecen en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de C_p para superficies inclinadas

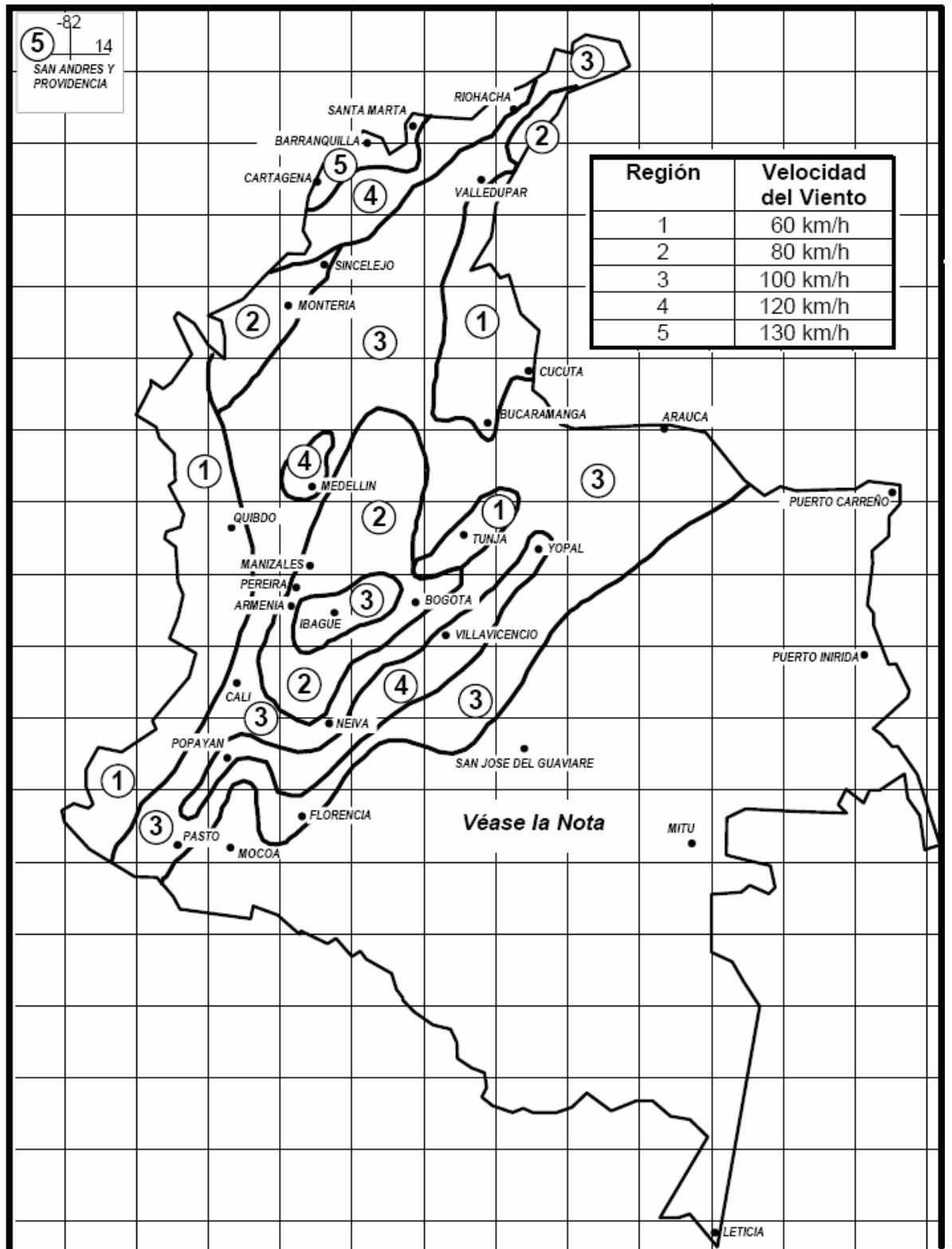
INCLINACIÓN DE LA CUBIERTA (GRADOS)	BARLOVENTO	SOTAVENTO
0 – 10.0	- 0.8	- 0.5
10.1 – 20.0	- 0.7	- 0.5
20.1 – 30.0	- 0.4	- 0.5
30.1 – 40.0	- 0.1	- 0.5
40.1 – 50.0	+ 0.2	- 0.5
50.1 – 60.0	+ 0.5	- 0.5
60.1 – 70.0	+ 0.7	- 0.5
70.1 – 80.0	+ 0.8	- 0.5

Para el cálculo de la presión dinámica del viento, hay que tener en cuenta la tabla 4. que indica los valores de presión dinámica para diferentes alturas de la estructura y velocidades de viento según la localización geográfica que se estiman considerando la figura 7.

Tabla 4. Valores de q en (kN / m^2)

Altura (m)	Velocidad del viento básico para el sitio (kph)						
	60	70	80	90	100	110	120
0 – 10	0.20	0.27	0.35	0.45	0.55	0.67	0.79
10 – 20	0.22	0.30	0.40	0.50	0.62	0.75	0.89
20 – 40	0.27	0.37	0.48	0.61	0.75	0.91	1.08
40 – 80	0.33	0.45	0.59	0.74	0.92	1.11	1.32
80 – 150	0.40	0.54	0.71	0.90	1.11	1.34	1.59
> 150	0.50	0.68	0.88	1.12	1.38	1.67	1.99

Figura 7. Coeficientes de Velocidad del viento



Para hallar el coeficiente S_4 que considera la variación de la densidad del aire con respecto a la altura sobre el nivel del mar se aplica la tabla 5.

Tabla 5. Valores de S_4

ALTITUD	
(m)	S_4
0	1.00
500	0.94
1000	0.88
1500	0.83
2000	0.78
2500	0.73
3000	0.69

3.3.3.4 Combinaciones de carga

En el método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) es necesario evaluar ciertas combinaciones de carga, teniendo en cuenta la carga muerta, la carga viva y la fuerza de viento para el diseño de cubiertas metálicas; después de evaluadas las combinaciones de carga, el diseño se hace con aquella que produzca la mayor sollicitación en el elemento estructural estudiado, sin que necesariamente actúen todas las cargas en dicha combinación.

A continuación, se presentan las diferentes combinaciones de carga que se usan para el análisis de una cubierta metálica.

1. 1.4D

2. $1.2D + 0.5L_r$
3. $1.2D + 1.6L_r + 0.8W$
4. $1.2D + 0.5L_r + 1.3W$
5. $0.9D - 1.3W$

Donde:

D : Carga muerta.

L_r : Carga viva de la cubierta.

W : Fuerza de viento.

Teniendo en cuenta la dirección del viento:

W_b : Fuerza de viento en la dirección de barlovento.

W_s : Fuerza de viento en la dirección de sotavento.

W_p : Fuerza de viento en la dirección paralela a la cumbrera.

3.4 DISEÑO DE MIEMBROS A TENSIÓN

Cada componente estructural se diseña de modo que su resistencia sea mayor o igual que la resistencia requerida basada en las cargas mayoradas nominales.

El diseño del miembro a tensión, según el método LRFD se hace teniendo en cuenta diferentes estados límites, con el fin de que cuando el miembro o la estructura esté soportando todas las combinaciones de cargas mayoradas y

apropiadas según su uso, no se exceda ningún estado límite aplicable; es por ello que en el diseño del miembro a tensión se tienen en cuenta dos posibles fallas; la primera por fluencia, que ocurre en elementos de área de sección bruta en los cuales se busca prevenir una falla debida a un alargamiento excesivo del miembro cuando este se carga a tensión, mientras que para elementos o miembros de área de sección con agujeros ya sean por tornillos o remaches, la falla que se busca prevenir es la de fractura en la sección neta.

- Estado límite de fluencia en área bruta (A_g):

$$P_u \leq fP_n$$

Donde:

$$f = 0.90$$

$$P_n = A_g F_y$$

A_g : Área bruta del miembro.

F_y : Esfuerzo de fluencia mínimo especificado del acero usado.

- Estado límite de fractura en área neta efectiva (A_e):

$$P_u \leq fP_n$$

Donde:

$$f = 0.90$$

$$P_n = A_e F_m$$

A_e : Área neta efectiva.

F_m : Resistencia mínima especificada a la tensión del acero usado.

Las diferentes fallas en la sección del miembro, debidas a cambios de área en la sección transversal por huecos o perforaciones, dependen del comportamiento del acero ante cargas a tensión. Propiedades como la ductilidad, que se define como la capacidad de soportar grandes deformaciones ante altos esfuerzos de tensión sin producirse la falla, hace que

la respuesta del acero varíe; pues una carga, que en un miembro de sección perforada hace que este fallase por fractura, puede resultar mínima para plastificar la sección transversal bruta del mismo.

3.4.1 Área neta (A_n)

En el análisis a tensión resulta muy importante el estudio de la sección transversal de un miembro ya que su comportamiento varía de acuerdo a cambios que esta presente. La presencia de un agujero incrementa los esfuerzos en la sección debido a una reducción de área que provoca una concentración de esfuerzos a tensión a lo largo del borde del agujero.

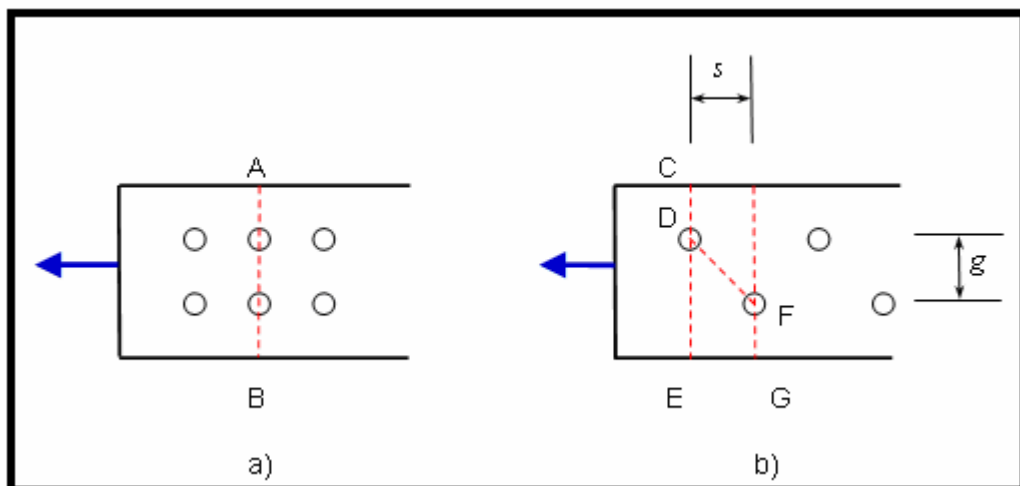
El concepto de área neta de la sección transversal se refiere al área de sección transversal de un miembro que se ve afectada por ranuras, huecos, perforaciones, y teóricamente se define como el área de sección bruta del miembro menos el área de las ranuras y agujeros. Para el caso de platinas y ángulos el área que se resta es rectangular y equivalente al producto del espesor del miembro por el diámetro de la perforación, dicho diámetro (f) es el diámetro nominal del conector más 1/8 de pulgada (diámetro nominal de la perforación + 2mm, según la Norma NSR-98, Ver Tabla 6.). El 1/8 de pulgada proviene de la suma de dos factores, el primero de ellos es, que por defecto al momento de fabricar la estructura de acero las perforaciones se hacen con un diámetro de 1/16" mayor al que corresponde el diámetro nominal y el segundo, por efecto del punzonado que daña la estructura de metal circundante 1/16".

Tabla 6. Dimensiones nominales de perforaciones

Diámetro del perno, mm (pulgadas)	Dimensiones de perforaciones, mm	
	Diámetro estándar	Diámetro agrandado
12,7 (1/2")	14	16
15,9 (5/8")	18	20
19,1 (3/4")	22	24
22,2 (7/8")	24	28
25,7 (1")	27	32
28,6 (>1 1/8")	d + 3	d + 8

El efecto de tener agujeros alternados o no, es determinante para el cálculo de áreas netas (*Figura 8.b*) ya que la falla en el miembro se podría presentar en diferentes planos, teniendo en cuenta el espaciamiento entre agujeros ya sea paralelo (conocido como el paso (s)) o transversal (conocido como el gramil (g)) a la dirección de la carga. En estos casos el área neta se calcula de la misma manera y sumando por cada gramil la cantidad $s^2/4g$. El área crítica neta del miembro se obtiene finalmente de la cadena que presenta la menor área neta.

Figura 8. Planos posibles de falla para una placa



- **Cálculo de Área neta**

Teniendo en cuenta la figura 8. los planos de falla para esa platina son 3 y están identificados con línea punteada (AB, CDE, CDFG); los cálculos correspondientes para determinar el área neta de la sección se muestran a continuación.

$$A_{n (AB)} = t (b - 2f)$$

$$A_{n (CDE)} = t (b - f)$$

$$A_{n (CDFG)} = t \left(b - 2f + \frac{s^2}{4g} \right)$$

Donde:

t = Espesor de la placa

b = Ancho de la placa

f = Diámetro estándar $\pm 2mm$ (Ver Tabla 1.4.1.2.1.4.2)

s = El paso, distancia longitudinal centro a centro de dos huecos consecutivos.

g = El gramil, distancia transversal centro a centro de dos huecos consecutivos.

El proceso es de una forma similar para diferentes secciones de perfiles, teniendo en cuenta las variaciones en los espesores y en el área bruta de la sección.

3.4.2 Área neta efectiva (A_e)

El área neta efectiva es, teóricamente, el área a través de la cual la fuerza se transmite directamente de un elemento a otro mediante una conexión, ya sea por pernos o por soldadura.

Debido a que los esfuerzos no siempre se transmiten de una manera constante a lo largo de una conexión, es decir, cuando la transmisión de la fuerza no se hace de una forma uniforme a través de la sección transversal de un miembro, existe una región de transición en la cual el esfuerzo antes de ser uniforme en la totalidad de la sección del miembro, es variante y va haciéndose constante hasta dicha zona. Esta transición del esfuerzo cortante se conoce como retraso del cortante.

Para efectos de cálculo del área neta efectiva, la distribución no uniforme del esfuerzo sobre el miembro es tomada en cuenta por un factor de reducción "U", el cual se aplica teniendo el criterio del tipo de conexión, si es atornillada o por soldadura; para ello, la norma NSR/98 estipula algunos criterios.

- **Cálculo de Área neta efectiva**

Los cálculos de área neta efectiva para miembros a tensión se realizan mediante algunas especificaciones según la NSR/98:

1. Cuando la carga se transmite directamente a todos y cada uno de los elementos transversales por medio de pernos o soldaduras:

$$A_e = A_n$$

2. Cuando la carga se transmite por pernos a través de algunos pero no todos los elementos de la sección transversal del perfil, el área neta efectiva se calcula:

$$A_e = UA_n$$

Donde:

A_n : Área neta del perfil.

U : Coeficiente de reducción.

$$U = 1 - \left(\frac{\bar{x}}{L} \right) \leq 0.9$$

\bar{x} : Excentricidad de la conexión.

L : Longitud de la conexión en dirección de la carga.

3. Cuando la carga se transmite por soldaduras a través de algunos pero no todos los elementos de la sección transversal del perfil, el área neta efectiva se calcula:

$$A_e = AU$$

Teniendo en cuenta lo siguiente:

- a. Cuando la carga a tensión se transmite únicamente mediante soldaduras longitudinales a cualquier miembro que no sea una platina o mediante la combinación de soldaduras longitudinales o transversales:

$$A = A_g : \text{Área total del miembro}$$

- b. Cuando la carga a tensión se transmite únicamente mediante soldaduras transversales:

A : Área de los elementos conectados directamente.

$$U = 1.0$$

- c. Cuando la carga a tensión se transmite a una platina por medio de soldaduras longitudinales o a lo largo de ambos bordes en los extremos de la misma, la longitud de la soldadura no debe ser inferior al ancho de la platina y:

A : Área de la platina.

Cuando:

$$l \geq 2w \rightarrow U = 1.0$$

$$2w > l \geq 1.5w \rightarrow U = 0.87$$

$$1.5w > l \geq w \rightarrow U = 0.75$$

Donde:

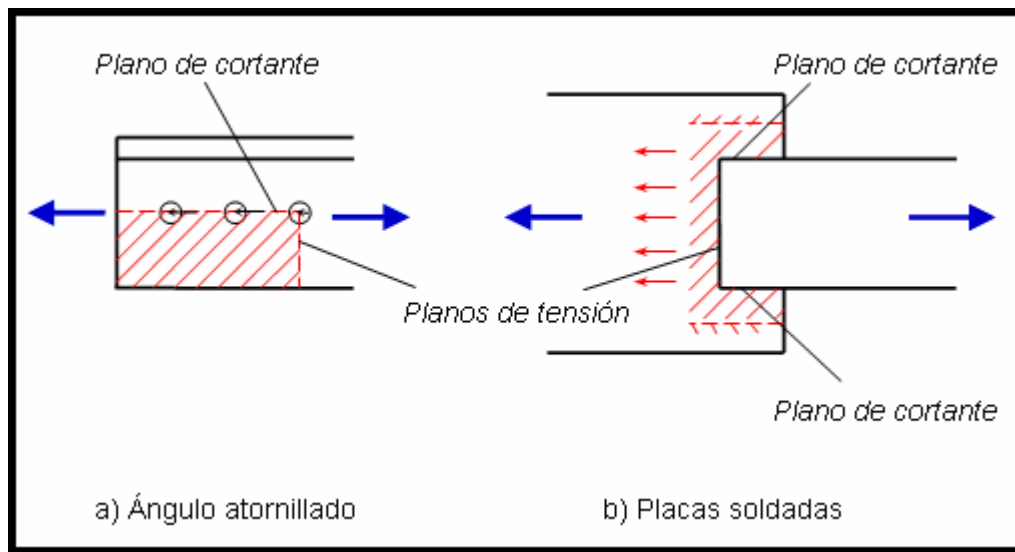
l : Longitud de la soldadura

w : Ancho de la platina (distancia entre soldaduras).

3.4.3 Bloque de cortante

El bloque de cortante es un estado límite para determinar la resistencia de diseño de un miembro a tensión. Cuando este se somete a tensión, su falla puede ocurrir a lo largo de una trayectoria que implique tensión en un plano y en el perpendicular a este, cortante (*Figura 9.*).

Figura 9. Cortante y tensión combinadas



Al aplicarle un incremento de carga a un miembro sometido a tensión, habrá un plano más débil sobre el cual la resistencia a la fractura estará próxima, pero que no fallará porque el otro plano, el más fuerte, lo restringe; entonces el incremento de carga se puede hacer hasta que se alcance la resistencia a la fractura del plano más fuerte, mientras tanto, el plano más débil fluye. Bajo esta premisa, el diseño por bloque de cortante establece la resistencia total de la conexión.

- **Cálculo del bloque de cortante**

Los cálculos de resistencia por bloque de cortante para miembros a tensión se realizan mediante especificaciones según la NSR/98:

1. Si $F_m A_{nt} \geq 0.6 F_m A_{nv}$:

$$f R_n = f \left[0.6 F_y A_{gv} + F_m A_{nt} \right]$$

2. Si $0.6F_m A_{nv} > F_m A_{nt}$:

$$f R_n = f [0.6 F_m A_{nv} + F_y A_{gt}]$$

Donde:

$$f = 0.75$$

A_{gv} : Área bruta sometida a corte.

A_{gt} : Área bruta sometida a tensión.

A_{nv} : Área neta sometida a corte.

A_{nt} : Área neta sometida a tensión.

3.4.4 Selección de perfiles

Existen diferentes perfiles estructurales de acero que se clasifican según la forma de su sección transversal, según su fabricación como aceros laminados en caliente o los perfiles rolados en frío, según sus propiedades que los hacen aceros de alta resistencia para determinados usos, etc. El manual LRFD tiene una denominación abreviada para cada perfil; es un sistema estandarizado que se maneja en planos, especificaciones técnicas y en los respectivos diseños. Los perfiles generalmente se denominan por la forma de su sección transversal y es común encontrar en el diseño de estructuras metálicas ángulos, placas, barras, perfiles te, zeta, ce, i.

La selección del perfil estructural de acero para que soporte las cargas de diseño a tensión es una tarea del diseñador, y que en su selección además deberá tener en cuenta características como el tipo de conexión, ya que no todos los perfiles se adecuan a las diferentes conexiones, pernadas o por soldadura; también se debe tener en cuenta el dimensionado de la estructura

de modo que todos sus miembros guarden una relación adecuada entre ellos y las propiedades y/o características del acero para efectos de análisis y diseño.

Con el fin de prevenir problemas tales como deflexiones, pandeo o vibraciones en los diferentes miembros, la inercia de la sección transversal del perfil es una propiedad fundamental ya que si se posee suficiente se podrán prevenir los problemas dichos anteriormente. Teóricamente se maneja una relación de esbeltez, que es el cociente de la longitud libre y su radio mínimo de giro, que para miembros a tensión no puede ser mayor que 300 (exceptuando las varillas, donde la relación de esbeltez para estas se deja a criterio propio por parte del diseñador) debido a que se pretende cierta resistencia a la compresión ya que, a pesar de que los miembros a tensión no estén expuestos al pandeo bajo cargas normales, pueden ocurrir situaciones en las que se presenten inversiones de esfuerzo, por ejemplo en los sismos y se vean obligados a resistir estos tipos de carga.

3.4.5 Selección de barras

La selección de barras o varillas para soportar cargas a tensión es muy limitada debido a su poca área de sección transversal que hace que la rigidez de estos elementos sea muy pequeña; sin embargo, el uso de barras en elementos de tirante y de contraviento como soporte entre armaduras y entre correas, es un caso bastante común en el diseño y análisis de cubiertas metálicas. Los contravientos son elementos que evitan que la acción del viento levante la teja, y junto a los tirantes, cuya función es evitar el pandeo de correas que es común en estos elementos, conforman el sistema de arriostramiento de una cubierta metálica.

3.4.6 Conexiones

Para armaduras metálicas existen dos tipos de conexiones, atornilladas o pernadas y por soldadura.

3.4.6.1 Conexiones atornilladas o pernadas

La conexión por tornillos o pernos ofrece entre sus ventajas importantes que no requiere de una mano de obra especializada y además que es un proceso rápido. Si lo comparamos con las conexiones por soldadura, puede resultar una conexión económica en países donde la mano de obra tenga un costo significativo y elevado en la construcción de un diseño, teniendo en cuenta que para conexiones por soldadura y también para conexiones con remaches, el costo por mano de obra y por equipo pueden resultar mayores.

3.4.6.1.1 Clases de tornillos

En conexiones de miembros de acero existen dos tipos de tornillos a usar, los tornillos ordinarios y los tornillos de alta resistencia. Los tornillos comúnmente conocidos como ordinarios son fabricados con acero al carbono; este tipo de acero tiene como principales elementos el carbono y el manganeso en cantidades determinantes, y el silicio y el cobre en pequeñas cantidades; son aceros muy parecidos al A36 en cuanto a sus características de esfuerzo y deformación, y son designados según la ASTM como tornillos A307. Su resistencia de diseño es menor que la de los remaches o tornillos de alta resistencia y se usan principalmente en correas, riostras, armaduras pequeñas, en fin, en estructuras ligeras que se encuentran sujetas a cargas estáticas.

Los tornillos de alta resistencia son fabricados a base de acero al carbono tratado térmicamente; estos se conocen como tornillos A325, mientras que los

A490 son de más alta resistencia debido a la adición de agentes aleantes como el silicio, cromo, columbio, vanadio, cobre, entre otros. Tienen resistencias a la tensión del doble o hasta más, comparados con los tornillos ordinarios. Las cargas mediante este tipo de tornillos se transfieren principalmente por fricción debido a los altos esfuerzos de tensión que el tornillo puede soportar al apretarse y su uso es más general, es decir, se usan en todo tipo de estructuras como edificaciones, puentes, etc.

3.4.6.1.2 Conexiones tipo fricción y tipo aplastamiento

El tensar completamente los tornillos de alta resistencia es un factor determinante en la conexión; para ello se usa el método de giro de la tuerca y el método de la llave calibrada logrando una mayor resistencia al deslizamiento en la superficie de contacto de la conexión, que es equivalente al producto de la fuerza al apretar y el coeficiente de fricción.

El tipo de conexión viene dado por la fuerza cortante, si esta es menor que la resistencia por fricción, la conexión es de tipo fricción, y si por el contrario, es mayor, la conexión será de tipo aplastamiento ya que se presenta un pequeño deslizamiento entre los miembros conectados quedando los tornillos sometidos a corte y deslizamiento.

3.4.6.1.3 Tipos de juntas atornilladas (transmisión de carga concéntrica)

Las conexiones atornilladas constan de juntas a tope, juntas traslapadas y también de alguna combinación de estas. *La junta traslapada* se forma cuando se conectan dos miembros directamente, es una conexión que necesita por lo menos dos conectores en cada una de las líneas paralelas a la longitud de los miembros conectados, con el fin de minimizar una posible falla por flexión debida a una condición de carga no simétrica. *La junta a tope* se da cuando se

conectan tres miembros, en este caso los tornillos se ven sometidos a un degollamiento en los dos planos de contacto entre los miembros, es decir, a un cortante doble y aplastamiento. Este tipo de junta despreja la flexión que se presenta en las juntas traslapadas debido a una condición de carga más simétrica. En algunos casos se usan juntas en las cuales se conectan tres o más miembros, en estos casos los tornillos quedan sometidos a cortante múltiple; sin embargo, en los análisis para el cálculo de resistencia se considera que las fallas por cortante sean máximo del doble.

Para un adecuado diseño de las juntas en una conexión, hay que tener en cuenta las posibles fallas que se pueden presentar en cada una de ellas:

- Falla por cortante simple: Se presenta en juntas traslapadas por corte o degollamiento del tornillo en el plano paralelo a la acción de la fuerza.
- Falla por cortante doble: Se presenta en juntas a tope en el plano paralelo a la acción de la fuerza.
- Es común también en ambos tipos de juntas fallas de los tornillos o de las placas por aplastamiento entre ambos, degollamiento de uno de los miembros y también fallas a tensión de una de las placas a través de los agujeros de los tornillos.

3.4.6.1.4 Requisitos de separación y distancias a bordes

Con el fin de prevenir daños como agrietamiento del metal con el punzonado de los agujeros y desgarramiento del miembro debido a la cercanía al borde de los tornillos, la Norma NSR/98 establece ciertas distancias mínimas al borde de estos y una separación mínima entre ellos; así mismo, establece separaciones y distancias al borde máximas con el fin de reducir la posibilidad de entrada de humedad.

- Separación mínima

Es la distancia centro a centro para agujeros de conectores estándares, agrandados o ranurados de $2\frac{2}{3}$ veces el diámetro nominal del conector, se prefiere una distancia de $3d$.

- Distancia mínima al borde

Es la distancia del centro de un agujero estándar a cualquier borde del miembro conectado, y se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Distancias mínimas al borde

Diámetro nominal del perno, <i>mm (pulgada)</i>	En bordes cortados con cizalla, <i>mm</i>	En bordes laminados de platinas, perfiles o barras y bordes cortados con sopletes, <i>mm</i>
12,7 (1/2")	22	19
15,9 (5/8")	29	22
19,1 (3/4")	32	25
22,2 (7/8")	38*	29
25,7 (1")	44*	32
28,6 (1 1/8")	51	38
31,8 (1 1/4")	57	41
31,8 (>1 1/4")	1,75 x diámetro	1,25 x diámetro

- Distancia al borde y separación máxima

La distancia máxima del centro de un agujero al borde más próximo será igual a 12 veces el espesor de la parte conectada en consideración pero no mayor a 150mm , en cuando a la separación máxima entre conectores:

- 24 veces el espesor de la placa mas delgada ó $300mm$ (para elementos pintados o sin pintar que no estén sometidos a ataques de corrosión).
- 14 veces el espesor de la placa mas delgada ó $175mm$ (para elementos sin pintar sometidos a la corrosión atmosférica).

3.4.6.2 Conexiones por soldadura

Las conexiones por soldadura presentan una serie de ventajas bastante importantes que son de gran importancia y que el diseñador debe tener en cuenta para un criterio de selección de la junta. Una de ellas es el ahorro significativo representado en el peso del acero de toda una estructura, ya que las conexiones por soldadura eliminan un gran número de placas de unión entre miembros y cabezas de tornillos, haciendo posible un ahorro de hasta un 15 % en peso de acero.

También es importante resaltar que la soldadura permite corregir errores de montaje con mayor facilidad, que es una conexión bastante rígida debido a que no usa placas de empalme sino que, en la mayoría de los casos los elementos están soldados directamente uno al otro; además, es un proceso silencioso que ocasiona tranquilidad en sectores vecinos a la construcción.

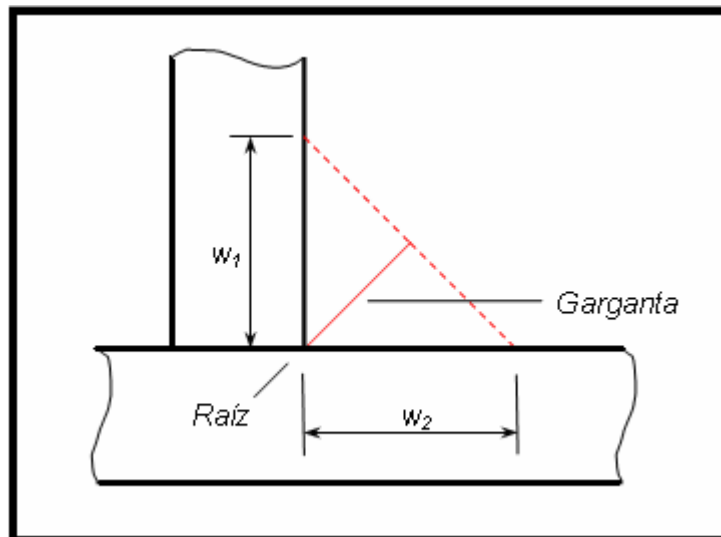
3.4.6.2.1 Tipos de soldadura

Al igual que en las juntas atornilladas, las juntas por soldadura presentan una clasificación según el tipo de soldadura estructural, principalmente son: *soldadura de filete* y *soldadura de ranura*. También existen *las soldaduras de tapón* y *de muesca*, y aunque estas son muy poco comunes en el trabajo estructural, se usan en situaciones particulares; por ejemplo, cuando no existe una longitud del filete de soldadura en 2 miembros traslapados o para conectar

las diferentes partes de un miembro, teniendo en cuenta que no son adecuadas para transmitir fuerzas de tensión perpendiculares a la superficie de contacto.

La soldadura de filete es la conexión soldada más usada en el trabajo estructural, principalmente en juntas traslapadas y en juntas T, además es una soldadura con resistencias a la tensión y a la compresión mayores que al corte, por lo que se supone que la falla siempre es por cortante y en un plano a través de la garganta de la soldadura (Figura 10.).

Figura 10. Soldadura de filete



Su diseño y análisis se hace teniendo en cuenta una sección transversal de soldadura supuesta, representada por un triángulo rectángulo como lo muestra la Figura 10., donde w_i es el tamaño de un filete de soldadura y la longitud de uno de los dos lados de la sección idealizada, la Raíz de la soldadura es el punto donde las dos caras de los miembros a soldar se intersectan y la garganta es la distancia perpendicular desde la hipotenusa del triángulo a la raíz. Cuando $w_1 = w_2$, el valor de la garganta es 0.707 veces el tamaño de la soldadura y su valor varía para soldaduras de filete de lados desiguales.

Tomando en cuenta la dirección de la carga, las soldaduras de filete son cargadas transversalmente y longitudinalmente; pruebas hechas demuestran que las primeras son más fuertes que las segundas, debido principalmente a que las soldaduras de filete transversal quedan sometidas a esfuerzos más uniformes sobre toda longitud; sin embargo, para simplificación en los cálculos de análisis y diseño, la dirección de la carga no se toma en cuenta para determinar la resistencia de los filetes.

La soldadura de ranura es una conexión que se caracteriza por un costo superior al de una soldadura de filete y se define simplemente como la depositada en una abertura o ranura entre las partes conectadas. Se usa cuando los miembros a soldar se encuentran alineados en un mismo plano y son muy utilizadas para juntas a tope, juntas de esquina y juntas T.

Las soldaduras de ranura pueden ser de penetración completa o de penetración parcial y algunas veces requieren de preparación en los bordes mediante biselado para permitir una penetración total de la misma.

Las soldaduras además de ser clasificadas según el tipo de soldadura (soldadura de filete o de ranura), también lo son según su posición en soldaduras horizontales, verticales, planas, de parte superior o sobrecabeza.

3.5 DISEÑO DE MIEMBROS A COMPRESIÓN

Entre los elementos más conocidos que se encuentran sometidos a compresión están las columnas y el cordón superior de las armaduras.

Un elemento cargado axialmente a compresión se debe diseñar de acuerdo a los posibles modos de falla, entre los que se encuentran *el pandeo local, el pandeo flector y el pandeo flexo-torsor*. Su tendencia al pandeo será mayor a

medida que se aumenta la longitud conservando el área transversal, disminuyendo así la capacidad de carga. La *relación de esbeltez* es el parámetro común con el cual se mide la tendencia al pandeo. Otros factores que afectan esta tendencia son la excentricidad de carga, los esfuerzos residuales de fabricación, el tipo de conexión en los extremos y las imperfecciones del material, entre las más importantes.

Los esfuerzos residuales de fabricación son aquellos producidos principalmente por las siguientes razones:

- I. Enfriamiento desigual en los perfiles después de haber sido laminados en caliente. Por ejemplo, en los perfiles W se enfrían primero los extremos de las aletas y el centro del alma, mientras que las intersecciones entre ellos lo hacen después. Las partes que se enfrían rápidamente quedan sometidas a esfuerzos residuales de compresión (debido a que el material sufre en ese sitio un acortamiento), mientras que las partes que se enfrían lentamente quedan sometidas a esfuerzos residuales de tensión.
- II. La aplicación de soldadura. Se ha demostrado que en las cercanías a las partes soldadas se pueden producir esfuerzos residuales que se aproximan al esfuerzo de fluencia. Los esfuerzos residuales causados por el soldado entre perfiles puede ser mayor que los producidos por el enfriamiento desigual.
- III. Encurvamiento en frío de los elementos con fines estructurales. El combeo es el flexionamiento de un elemento en cierta dirección para mejorar su apariencia en el momento de la aplicación de las cargas.

El valor de los esfuerzos residuales puede llegar a ser hasta casi 100 MPa. Estos esfuerzos pueden provocar una fluencia prematura en diferentes partes de la sección del elemento conllevando a una reducción de la resistencia al pandeo; entonces, la rigidez del elemento a compresión se reducirá y ahora

será función de la parte de la sección que aún se comporta elásticamente. Se puede decir que un elemento a compresión con esfuerzos residuales se comporta como si tuviera una menor área transversal. Para estimar los esfuerzos residuales en el cálculo del pandeo, se utiliza el módulo tangente o un momento de inercia efectivo (I_e) correspondiente a la inercia de la sección transversal que se comporta elásticamente.

Las imperfecciones en elementos a compresión pueden ser más críticas que en elementos a tensión, debido a que afectan la estabilidad (como en el caso de columnas, las cuales pueden ser más críticas que las vigas respecto a la estabilidad de una edificación) y a que la tensión tiende a enderezar los elementos mientras que la compresión actúa de manera inversa. También se ha encontrado que las columnas ligeramente flexionadas cuando se colocan pueden producir momentos significantes.

Específicamente se podría decir que entre estas imperfecciones se encuentran la no homogeneidad de los materiales, variaciones de la geometría de las secciones transversales, esfuerzos residuales, agujeros taladrados para recibir remaches y esfuerzos de montaje. Estas imperfecciones acompañadas de cargas excéntricas y posibles cargas transversales conllevan al elemento a estar sometido tanto a compresión (debido a la carga axial) como a flexión, como es el caso de prácticamente todas las columnas. En este caso se debe diseñar teniendo en cuenta los esfuerzos causados por ambos efectos. Se denominan *cargas axiales o concéntricas* cuando el centro de gravedad de estas cargas coincide con el centro de gravedad de la columna.

La aplicación matemática al diseño de elementos a compresión surgió en el siglo XVIII, principalmente con una ecuación para columnas propuesta por el matemático suizo Leonhard Euler. Diversas ecuaciones han sido propuestas desde entonces, algunas para condiciones ideales y otras para condiciones de laboratorio las cuales simulan la realidad con ciertas diferencias. Las fórmulas más tenidas en cuenta son aquellas que se han adaptado más a la realidad y a

un promedio de resultados obtenidos para la misma relación de esbeltez; los diversos valores de resistencia obtenidos para una misma relación de esbeltez se justifican debido a que prácticamente es imposible simular dos ensayos de compresión a iguales condiciones. Los ensayos para elementos a compresión con diferentes relaciones de esbeltez han llevado a las siguientes conclusiones generales:

- a. El esfuerzo de falla en elementos a compresión con relación de esbeltez baja está cercano al de fluencia.
- b. En elementos a compresión con relación de esbeltez intermedia es muy significativa la presencia de esfuerzos residuales.
- c. El esfuerzo de falla en elementos a compresión con relación de esbeltez alta depende en gran parte de las condiciones de apoyo, y su magnitud es significativamente menor que el esfuerzo de fluencia.

3.5.1 Selección de perfiles

El criterio general para la selección de perfiles en el diseño de elementos a compresión está directamente relacionado con:

- a. La facilidad de construcción del conjunto deseado, como una columna formada por varios perfiles.
- b. La facilidad de unión entre miembros, ya sea a través de conexiones atornilladas, pernadas o soldadas.
- c. La rigidez de los miembros.
- d. La disponibilidad de secciones en el mercado.

Debido a la alta relación de esbeltez de las barras, placas y varillas, éstas no son aptas para el diseño a compresión de elementos como una columna o el cordón superior de una armadura. Podrían utilizarse si la carga de diseño y su relación de esbeltez son bajas.

Algunos perfiles comerciales y sus aplicaciones comunes respecto a la compresión son las siguientes:

- I. Para el cordón superior de una armadura de techo algunas veces son usados:
 - a. Un par de ángulos espalda con espalda si se van a atornillar; una placa entre ellos puede ser necesaria para la unión con los miembros de la celosía.
 - b. Tes estructurales como reemplazo de ángulos espalda con espalda si se piensa en soldarlos; los miembros de la celosía se soldarán al alma de la Te.
- II. Para elementos a compresión en armaduras ligeras y miembros de arriostramiento se pueden usar ángulos sencillos.
- III. Para el cordón superior de armaduras de puentes son muy adecuadas las secciones armadas formadas por un par de canales con una cubreplaca en la parte superior y celosía en la parte inferior.
- IV. Para columnas se pueden usar:
 - a. Perfiles W, los cuales son los más comunes para columnas de edificios. En caso de necesitarse mayor resistencia para soportar la carga, puede incrementarse el área de la sección transversal con la adición de placas a las aletas del perfil.

- b. Un par de canales enfrentados; en ciertas ocasiones pueden estar espalda con espalda.
 - c. Secciones armadas, como 4 ángulos de lados iguales que resultan en una sección transversal “en caja”.
 - d. Perfiles tubulares circulares, cuadrados o rectangulares.
- V. Para torres y pescantes de grúas es común el uso de secciones armadas por 4 ángulos de lados iguales.

3.5.2 Longitud efectiva

El principio y el final del pandeo de un elemento a compresión están marcados teóricamente en dos secciones transversales que permanecen en la misma posición que tenían antes de producirse el pandeo (*Figura 11. a.*). Estas secciones o puntos teóricos donde empieza y finaliza el pandeo están directamente relacionados con la restricción de los extremos del elemento; si un extremo del elemento a compresión está empotrado y el otro extremo está a borde libre, solamente se verá físicamente una de esas secciones. La distancia longitudinal al eje del elemento entre estas secciones o puntos es conocida como *longitud efectiva*. Técnicamente se podría decir que la *longitud efectiva* es la distancia entre puntos de momento nulo en el elemento, es decir, la distancia entre los puntos de inflexión.

Matemáticamente la *longitud efectiva* se denota de la siguiente manera:

$$L_e = KL$$

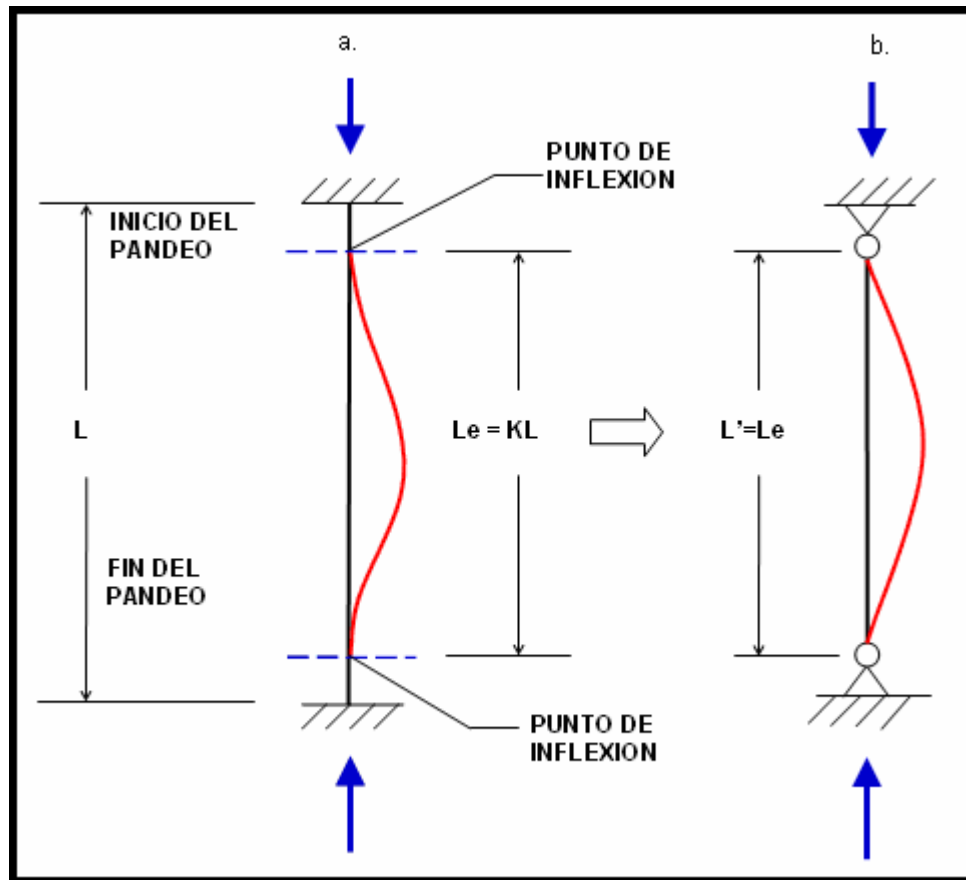
Donde:

L_e : Longitud efectiva.

K : Factor de longitud efectiva; su magnitud depende de la restricción rotacional y traslacional de los extremos del elemento y de la resistencia al movimiento lateral del mismo.

L : Longitud del elemento a compresión.

Figura 11. Longitud efectiva

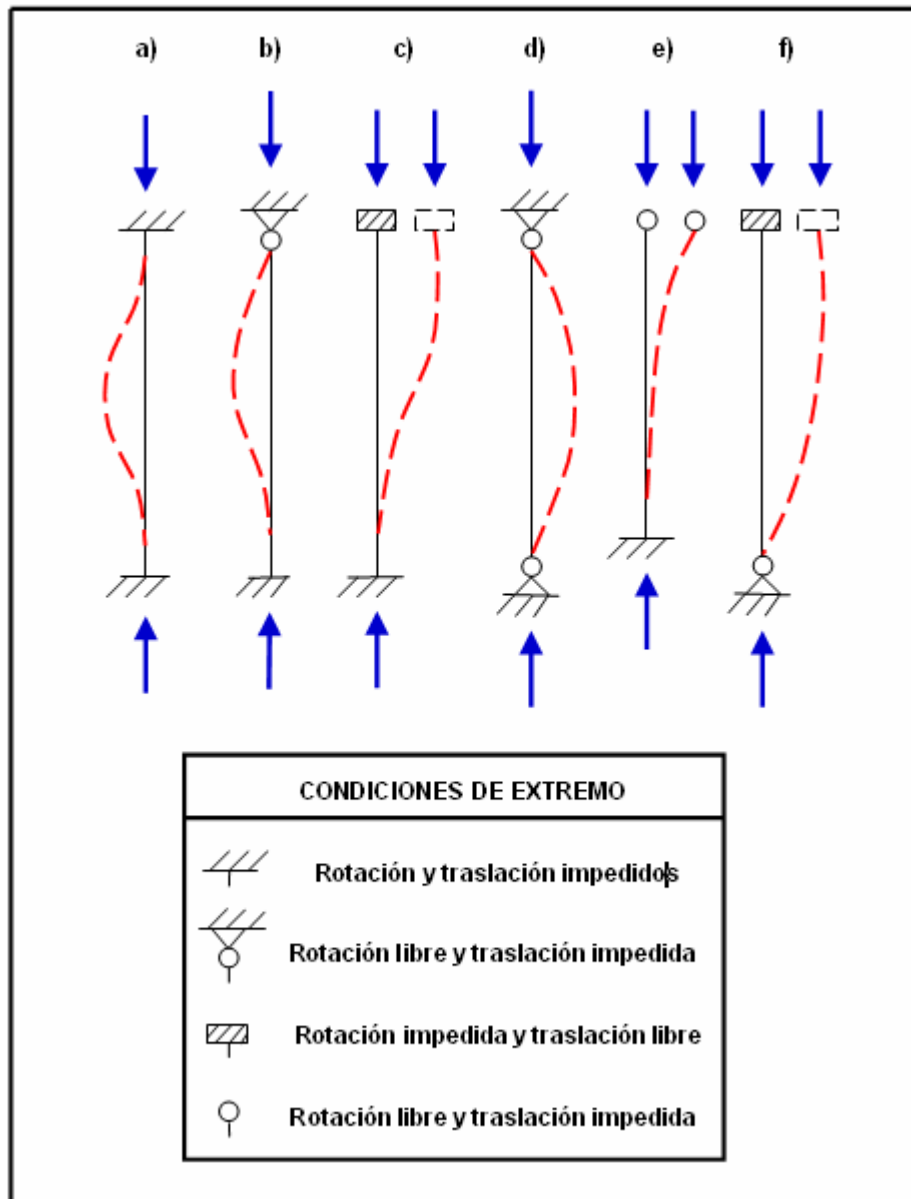


El concepto de longitud efectiva busca reemplazar un elemento a compresión con cualquier condición en sus extremos, por un elemento equivalente con sus extremos articulados, y que posean ambos elementos el mismo esfuerzo crítico o esfuerzo que produce el pandeo en ellos, como se muestra en la figura 11. Esto es debido a que se supone que el pandeo en un elemento articulado en sus extremos, empieza y finaliza en sus mismos extremos, así, la longitud

efectiva (L_e) sería igual a la longitud real del elemento (L), deduciéndose también que el valor de K sería igual a la unidad para este tipo de condición de extremos (ambos articulados), conservando el mismo esfuerzo crítico. Entonces, al realizar el reemplazo de cualquier elemento a compresión, el nuevo elemento deberá tener una longitud igual a la longitud efectiva y extremos articulados, resistiendo el mismo esfuerzo crítico (*Figura 11 b*).

La figura 12. muestra elementos a compresión con diferentes condiciones de restricción en sus extremos y el pandeo teórico (a través de líneas punteadas), para así poder establecer el valor de K para cada caso.

Figura 12. Pandeo para diferentes condiciones de extremo



La figura 12. ayuda a explicar la tabla 8. que hace referencia a los valores de K para diferentes tipos de condición de extremos.

Tabla 8. Valores de K

Caso	a)	b)	c)	d)	e)	f)
Valor teórico de K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño de K	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Así, se puede ver que elementos a compresión que tengan diferentes restricciones en los extremos, tendrán también diferentes valores de longitud efectiva debido al valor diferente de K . Para el diseño se debe tener en cuenta que en la práctica no existen ni articulaciones ni empotramientos perfectos, por esta razón se dan valores recomendados de diseño para K . Los valores de esta tabla pueden ser interpolados si se tiene un buen juicio ingenieril y si se conocen realmente las condiciones en los extremos.

Los valores de K dados en la tabla 8. se utilizan para el diseño de elementos a compresión aislados, elementos que no requieren alta precisión en el cálculo de la longitud efectiva, o simplemente en diseños preliminares. Para elementos a compresión que hacen parte de un conjunto estructural, tal como las columnas en marcos, o para otros elementos de alta importancia, es necesaria la estimación más precisa del valor de K , lo cual se hace generalmente por medio de nomogramas.

Previamente al uso de los nomogramas es necesario saber que el movimiento lateral de alguno de los extremos de un elemento a compresión respecto al otro es conocido como *ladeo*. Un marco arriostrado es aquel en el que la traslación de sus juntas o *ladeo* está impedido por medio de riostras, muros de cortante o el soporte lateral de las estructuras adjuntas; mientras que un marco sin arriostrar no tiene ninguno de los anteriores impedimentos y el pandeo de sus miembros dependerá de la rigidez de ellos mismos. El valor de K para cada

elemento a compresión de un marco arriostrado nunca será mayor que la unidad (1.0); mientras que el valor de K para cada elemento a compresión de un marco sin arriostrar siempre será mayor que la unidad (1.0).

El desplazamiento lateral entre juntas hace referencia a un tipo de pandeo y se puede presentar debido a las siguientes razones:

- I. Por cargas laterales que curvan lateralmente a los marcos.
- II. Por cargas verticales asimétricas.
- III. En marcos asimétricos.
- IV. En elementos a compresión cuyos extremos se pueden mover transversalmente cuando son cargados hasta que ocurre el pandeo.

3.5.3 Fórmula de Euler

Debido a que los elementos a compresión que tienen mayor restricción en sus extremos tienen una longitud efectiva menor, soportan cargas mayores antes de pandearse que aquellos elementos con poca restricción; esto se debe a que el esfuerzo bajo el cual una columna se pandea va disminuyendo en cuanto su longitud va aumentando, hasta el punto en que el esfuerzo de pandeo será elástico reduciéndose al límite proporcional del acero.

La carga de pandeo elástico de una columna se calcula por la ecuación de Euler:

$$P = \frac{P^2 EI}{L^2}$$

Para obtener el esfuerzo de pandeo de Euler se debe tener en cuenta:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Despejando,

$$I = Ar^2$$

Y reemplazando en la fórmula de Euler se obtiene el esfuerzo de pandeo de Euler:

$$F_e = \frac{P}{A} = \frac{\mathbf{p}^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

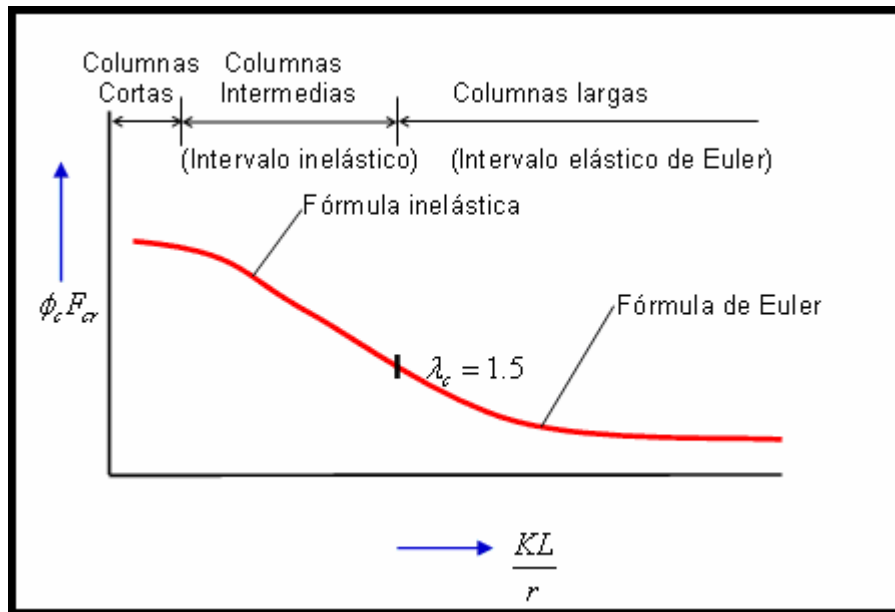
Para efectos de cálculo y diseño de columnas, en la ecuación de Euler el parámetro L es la longitud efectiva de la columna, es decir, la distancia entre puntos de inflexión de la elástica.

3.5.4 Parámetro de esbeltez y relaciones de esbeltez máximas

Las columnas se clasifican como columnas largas, cortas e intermedias. Dicha clasificación permite identificar la respuesta al esfuerzo de pandeo en una columna y predecir si su falla es elástica o inelástica.

Para que una columna se pandee elásticamente debe ser larga y esbelta, la fórmula de Euler se aplica para este tipo de columnas. En las columnas muy cortas no existe pandeo debido a que la falla es por fluencia, mientras que las columnas intermedias se comportan inelásticamente debido a que algunas de sus fibras alcanzan la fluencia y otras no, presentándose dos tipos de falla: por fluencia y por pandeo respectivamente.

Figura 13. Influencia de la esbeltez



En la figura 13. se puede observar la respuesta al esfuerzo de pandeo y la influencia de la esbeltez (I_c) para los diferentes tipos de columna.

El parámetro de esbeltez se define como:

$$I_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

En donde F_e es el esfuerzo de Euler, definido anteriormente; reemplazando el valor obtenemos el parámetro de esbeltez:

$$I_c = \frac{KL}{rp} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Para miembros a compresión, las relaciones de esbeltez $\left(\frac{KL}{r}\right)$ usadas para el cálculo del parámetro de esbeltez, en ningún caso deben ser mayores que 200.

3.5.5 Pandeo local

Un miembro cargado axialmente a compresión puede fallar por pandeo local, que ocurre cuando alguna parte de la sección transversal, ya sea el alma o el patín, se pandee localmente en compresión antes que los otros modos de pandeo puedan ocurrir.

Las condiciones para que se presente el pandeo local en un miembro están dadas según la relación ancho-espesor de los elementos de su sección transversal y también de que los elementos se encuentren atiesados o no; es necesario definir que un elemento atiesado es una pieza que se encuentra soportada a lo largo de los dos bordes en la dirección paralela a la carga de compresión, mientras que un elemento no atiesado es una pieza que tiene un borde libre en esa misma dirección.

También es necesario calcular la relación ancho a espesor (*Tabla 9.*) con el fin de medir la susceptibilidad al pandeo local del miembro, para ello es importante identificar si su sección transversal es compacta, no compacta o simplemente un elemento esbelto a compresión.

Cuando la distribución del esfuerzo de fluencia se logra en la sección transversal de todos los elementos de un miembro a compresión antes de que ocurra el pandeo, se tiene que la *sección es compacta*; para que esto ocurra, las aletas del miembro deben estar conectadas al alma y su relación ancho-espesor no debe ser mayor que I_p , definido en las tablas del manual de diseño LRFD; mientras tanto, cuando la distribución del esfuerzo de fluencia se desarrolla en algunos pero no en todos los elementos del miembro antes de

pandearse, la sección se clasifica como *no compacta* siendo la relación ancho-espesor mayor que I_p y menor o igual que I_r ; cuando en algún miembro la relación ancho-espesor es mayor que I_r , la sección se clasifica como esbelta y su procedimiento de diseño es muy complejo, por lo que se recomienda no trabajar con elementos que se encuentren en esta clasificación; para ello, se pueden engrosar los elementos con el fin de excluirlos del rango esbelto. La norma NSR-98 estipula ciertas recomendaciones para tomar el ancho de la sección transversal teniendo en cuenta la sección del perfil y si sus elementos son o no atiesados. Estas recomendaciones se muestran a continuación:

- Para elementos atiesados:
 - Para almas de secciones laminadas y secciones formadas, h es la distancia libre entre aletas menos la transición o radio de la esquina de cada aleta; h_c es dos veces la distancia entre el eje centroidal y la cara interior de la aleta en compresión menos la transición o radio esquinero.
 - Para almas de secciones ensambladas h es la distancia entre hileras adyacentes de sujetadores o la distancia libre entre aletas cuando se utilizan soldaduras, y h_c es dos veces la distancia entre el eje neutro y la hilera mas próxima de sujetadores de la aleta en compresión o dos veces la distancia entre el eje neutro y la cara interior de la aleta en compresión si se utilizan soldaduras.

- Para elementos no atiesados:
 - Para aletas de perfiles I y tes, el ancho b será igual a la mitad del ancho nominal.
 - Para alas de ángulos y aletas de canales y perfiles Z, el ancho b es igual al ancho nominal.

- Para platinas, el ancho b es igual a la distancia del extremo libre a la primera hilera de sujetadores o línea de soldadura.
- Para almas tes, d se tomará como la altura nominal.

Tabla 9. Valores límites de la relación ancho a espesor para elementos a compresión

Descripción del elemento (Elementos rigidizados)	Relación ancho - espesor	Valores límites	
		λ_p (Compacto)	λ_p (No Compacto)
Aletas de vigas laminadas en forma de I y canales solicitados por flexión	b/t	$\frac{170}{\sqrt{F_y}}$ (c)	$\frac{370}{\sqrt{F_y - 70}}$
Aletas de vigas híbridas en forma de I o vigas soldadas solicitadas por flexión	b/t	$\frac{170}{\sqrt{F_{yf}}}$	$\frac{425}{\sqrt{(F_{yf} - 115)/k_c}}$ (f)
Aletas salientes de miembros fabricados solicitados compresión	b/t	NA	$\frac{285}{\sqrt{F_y/k_c}}$ (f)
Aletas salientes de pares de ángulos en contacto continuo, aletas de canales solicitadas por compresión axial; ángulos y platinas salientes de vigas o miembros a compresión.	b/t	NA	$\frac{250}{\sqrt{F_y}}$
Aletas de ángulos sencillos a compresión; aletas de ángulos dobles a compresión con separadores; elementos no rigidizados, esto es con soporte lateral a lo largo de un borde.	b/t	NA	$\frac{200}{\sqrt{F_y}}$
Almas de tes.	d/t	NA	$\frac{335}{\sqrt{F_y}}$

Tabla 9. (Continuación)

Descripción del elemento (Elementos rigidizados)	Relación ancho - espesor	Valores límites	
		?p	?p (No Compacto)
Aletas de secciones tipo cajón cuadradas o rectangulares y secciones estructurales huecas de espesor uniforme solicitadas por flexión o compresión; platabandas de aleta y platinas de duafragma entre lineas de sujetadores o soldaduras	b/t	500 $\sqrt{F_y}$	625 $\sqrt{F_y}$
Anchos no ariostados de platabandas perforadas con una secesión de huecos de acceso(b)	b/t	NA	830 $\sqrt{F_y}$
Almas solicitadas a compresión por flexión (a)	h/tw	1700 $\sqrt{F_y}$ (c)	2550 $\sqrt{F_y}$ (g)
Almas solicitadas por compresión axial y flexión	h/tw	Para $P_u / f_b P_y \leq 0.125$ (c) $\frac{1680}{\sqrt{F_y}} \left[1 - \frac{2.75 P_u}{f_b P_y} \right]$ Para $P_u / f_b P_y > 0.125$ (c) $\frac{500}{\sqrt{F_y}} \left[2.33 - \frac{P_u}{f_b P_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{2550}{\sqrt{F_y}} \left[1 - 0.74 \frac{P_u}{f_b P_y} \right]$
Todos los demás elementos rigidizados solicitados por compresión uniforme, esto es con soporte lateral lo largo de ambos bordes	b/t h/tw	NA	665 $\sqrt{F_y}$
Secciones circulares huecas en compresión axial	D/t	NA (d)	22000 / F_y
En flexión		14000 / F_y	62000 / F_y

3.5.6 Resistencia de diseño a la compresión por pandeo flector

El pandeo flector también se conoce con el nombre de pandeo de Euler y está gobernado en pocas palabras por la esbeltez del miembro. Para determinar la resistencia de diseño a la compresión por pandeo flector de un miembro es necesario calcular el esfuerzo crítico que resiste el área de su sección transversal mediante las siguientes ecuaciones, que se aplican para miembros cuyos elementos tienen relaciones de ancho-espesor inferiores a I_r , mostradas en la tabla 9.

- Resistencia de diseño:

$$P_u \leq \phi P_n$$

Donde:

P_u = Carga última a compresión por pandeo flector.

ϕP_n = Resistencia nominal de diseño a compresión por pandeo flector.

$$\phi = 0.85$$

- Resistencia nominal a compresión por pandeo flector:

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal del elemento.

F_{cr} : Esfuerzo crítico promedio que resiste la sección transversal.

El cálculo del esfuerzo crítico promedio se hace dependiendo si el pandeo es elástico o inelástico y para ambos casos la influencia de la esbeltez es un factor determinante (*Figura 13*). A continuación se muestra el cálculo del esfuerzo crítico promedio para las dos situaciones:

- Si $I_c \leq 1.5$:

Este es el caso de las columnas cortas e intermedias, las cuales se pandean cuando varias fibras de su sección han llegado a la fluencia y el valor del esfuerzo crítico es el siguiente:

$$F_{cr} = \left(0.658 I_c^2\right) F_y$$

- Si $I_c > 1.5$:

Es el caso de columnas largas o esbeltas que se pandean con todas las fibras de su sección en rango elástico, para este caso el valor del esfuerzo crítico cambia a la siguiente expresión:

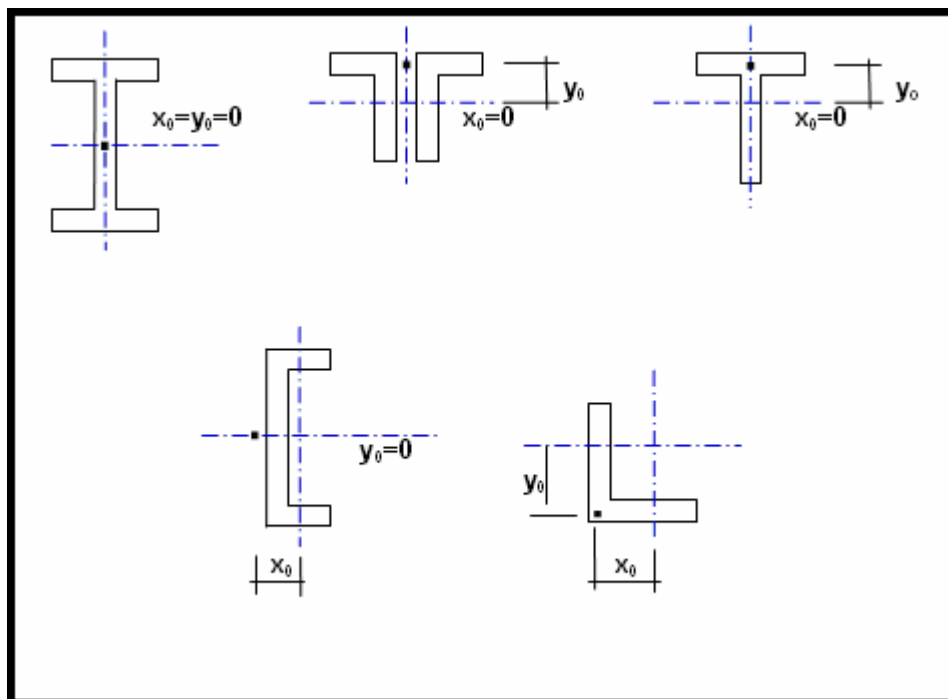
$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{I_c^2}\right) F_y$$

3.5.7 Resistencia de diseño a la compresión por pandeo flexo-torsor

El pandeo flexo-torsor es un efecto que, junto con el pandeo local y el pandeo flexionante, puede presentarse en un miembro cargado a compresión. Debido a la complejidad del pandeo torsionante, es conveniente hacer arreglos en los perfiles de los miembros con el fin de aumentar la resistencia a la torsión de modo que el pandeo flexionante sea el que predomine; para ello hay que tener en cuenta que los perfiles en forma de cajón son bastante resistentes al efecto de torsión.

Para evitar el efecto de torsión es necesario que la resultante de cargas transversales pase por el centro de cortante de la sección transversal del miembro; la ubicación del centro de cortante es de gran importancia y depende de la geometría del perfil. La figura 14. muestra los perfiles más comunes y las coordenadas (x_0, y_0) de su centro de cortante; sin embargo, la resistencia por flexo-torsión debe calcularse para miembros cargados de esta forma debido a que la carga de pandeo depende de las propiedades de la sección transversal, la longitud de la columna y la condición de los apoyos de la misma.

Figura 14. Posición del centro de cortante respecto al centroide de perfiles comunes



A modo de criterio general, el efecto del pandeo flexo-torsor en secciones de perfiles simétricos no se considera en un análisis a compresión ya que no afecta demasiado el comportamiento de las columnas.

La resistencia de diseño por pandeo flexo-torsor de miembros a compresión en forma de T o compuestos por dos ángulos, cuyos elementos tienen relaciones de ancho-espesor inferiores a I_r , mostradas en la tabla 9., se calcula de la siguiente manera:

- Resistencia de diseño:

$$P_u \leq \phi P_n$$

Donde:

P_u = Carga última a compresión por pandeo flexo-torsor.

ϕP_n = Resistencia nominal de diseño a compresión por pandeo flexo-torsor.

$$\phi = 0.85$$

- Resistencia nominal a la compresión por pandeo flexo-torsor:

$$P_n = F_{crft} \cdot A_g$$

Donde:

A_g : Área bruta de la sección transversal del miembro.

F_{crft} : Esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor.

El cálculo del esfuerzo crítico (F_{crft}) se obtiene como un promedio ajustado de la suma del esfuerzo crítico nominal por pandeo flector (F_{cry}) sobre el eje de

simetría de la sección transversal y del esfuerzo crítico nominal por pandeo torsor (F_{crz}) en el eje longitudinal del miembro.

La expresión del esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor para perfiles de simetría simple donde y es el eje de simetría, es la siguiente:

$$F_{crft} = \left[\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right] \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right]$$

Donde:

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A \bar{r}_0^2}$$

F_{crz} : Es el esfuerzo crítico nominal por pandeo torsor en el eje z (eje longitudinal del miembro).

G : Módulo de cortante. El módulo de cortante para cualquier material es menor que la mitad pero mayor que un tercio del módulo de elasticidad de ese material. Para el acero el módulo de cortante se puede tomar aproximadamente como $0.4 \cdot E$.

$$J = \frac{\sum b't^3}{3}$$

J : Constante de torsión.

b' : Longitud de ala del perfil menos la mitad del espesor.

t : Espesor de ala del miembro.

A : Área de la sección transversal del miembro.

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A}$$

\bar{r}_0 : Radio polar de giro con respecto al centro de cortante.

I_x, I_y : Momentos de inercia respecto a los ejes x, y respectivamente.

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{r_0^2}$$

x_0, y_0 : Coordenadas del centro de cortante respecto al centroide.

El esfuerzo crítico nominal por pandeo flector en el eje y (eje de simetría de la sección transversal) se calcula de acuerdo a lo establecido en 1.5.7 teniendo en cuenta la siguiente modificación. Si la modalidad de pandeo indica deformaciones relativas que producen fuerzas de corte en los conectores de

los perfiles individuales, la relación $\left(\frac{kl}{r}\right)$ se reemplaza por $\left(\frac{kl}{r}\right)_m$ determinada como sigue:

- Para conectores intermedios constituidos por pernos ajustados:

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kl}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$$

- Para conectores intermedios que están soldados o pernos completamente tensionados:

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{kl}{r}\right)_0^2 + 0.82 \cdot \left(\frac{a^2}{1+a^2}\right) \cdot \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_0$: Relación de esbeltez del miembro ensamblado actuando como una unidad.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_m$: Relación de esbeltez modificada del miembro ensamblado.

$\left(\frac{a}{r_i}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componentes individuales.

$\left(\frac{a}{r_{ib}}\right)$: Relación de esbeltez de los componentes individuales con respecto a su eje centroidal, paralelo a su eje de pandeo.

a : Distancia entre conectores, mm.

r_i : Radio mínimo de giro de un componente individual, mm.

r_{ib} : Radio de giro de un componente individual con respecto a su eje centroidal, paralelo al eje de pandeo del miembro, mm.

a : Relación de separación: $\frac{h}{2r_{ib}}$

h : Distancia entre los centroides de componentes individuales medida perpendicularmente al eje de pandeo del miembro, mm.

3.5.8 Diseño de miembros sometidos a flexión y fuerza axial

El efecto combinado de la flexión y de la carga axial es muy común en elementos estructurales como columnas y armaduras de cubiertas; es causado por factores como la acción del viento lateral y la acción de cargas verticales ya sean externas o por peso propio, que producen además de cargas axiales momentos flexionantes en los elementos estructurales.

La combinación de esfuerzos por flexión y carga axial es objeto de estudio especialmente en miembros sujetos a compresión (efecto de flexo-compresión) ya que la tensión tiende a reducir las deflexiones laterales mientras que la compresión las incrementa, haciendo críticos los esfuerzos debido a los

momentos flexionantes en estos elementos; ante esta combinación de esfuerzos, los elementos deben tener cierta rigidez que eviten unas deflexiones laterales excesivas.

3.5.8.1 Efecto de Flexo-compresión

Para miembros con simetría doble o sencilla sometidos a flexión y a compresión axial se tienen las siguientes ecuaciones, en las cuales se establece un dominio a compresión o un dominio a flexión.

- Dominio de la compresión:

$$\frac{P_u}{fP_n} \geq 0.2$$

Si se cumple la condición anterior, entonces:

$$\frac{P_u}{fP_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{f_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{f_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

- Dominio de la flexión:

$$\frac{P_u}{fP_n} < 0.2$$

Si se cumple la condición anterior, entonces:

$$\frac{P_u}{2fP_n} + \left(\frac{M_{ux}}{f_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{f_b M_{ny}} \right) \leq 1.0$$

Donde:

P_u : Resistencia requerida a la compresión.

M_u : Resistencia requerida a la flexión.

P_n : Resistencia nominal a la compresión.

M_n : Resistencia requerida a la flexión.

Los factores de resistencia son los siguientes:

$$\mathbf{f} = 0.85$$

$$\mathbf{f}_b = 0.85$$

4. MANUAL DCMAC

A continuación se explica todo lo concerniente a DCMAC: descripción, alcance, metodología, entorno visual, procedimientos y cálculos, ayudas y requerimientos del sistema.

4.1 DESCRIPCIÓN

DCMAC, Diseño de Cubiertas Metálicas Asistido por Computador, es un programa creado, diseñado, desarrollado y programado por los estudiantes JAIRO ALONSO CÁRDENAS ALMEYDA y NICOLÁS ANTONIO VERA MACÍAS, bajo la Dirección del Ingeniero Civil DALTON MORENO GIRARDOT, para obtener el título de Ingeniería Civil UIS.

4.2 ALCANCE

DCMAC es un programa que tiene por objeto el diseño de una cubierta metálica, basándose en la teoría de estructuras metálicas, el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD, *Load and Resistance Factors Design*), cumpliendo con la norma NSR-98, con alcance de los temas vistos en la asignatura de Diseño de Estructuras Metálicas, y el procedimiento para el diseño de una cubierta metálica propuesto en DCMAC.

En DCMAC se permiten diseñar cubiertas metálicas:

1. A dos aguas.
2. Con armaduras tipo Howe o tipo Pratt.
3. Con longitudes y anchos entre 10 y 50 metros.
4. Con separación entre armaduras mínima de 3 metros y máxima no definida.
5. Con una distribución de teja seleccionada por DCMAC o por el usuario, dependiendo de la teja seleccionada.
6. Con pendientes entre 9 y 58% dependiendo de la teja seleccionada.
7. Con armaduras con nodos intermedios entre nodos cargados con correas en el cordón superior.
8. Aplicando el Análisis simple para el cálculo de la presión del viento.
9. Con correas conformadas por dos perfiles (ángulos de lados iguales), una barra y celosía (sección transversal triangular).
10. Con correas aplicadas en los nodos del cordón superior.
11. Y todas las correas que aparecen en su diseño discriminándolas por tipos de correa.
12. Y sus armaduras de extremo e intermedias.
13. Con una configuración para el cordón superior de dos perfiles (ángulos de lados iguales) enfrentados y unidos por conectores.
14. Y una primera estimación de la configuración del cordón inferior conformada por dos perfiles (ángulos de lados iguales).

4.3 METODOLOGÍA

La metodología usada es el diseño a través de módulos con soporte en procedimientos simultáneos. Cada módulo es una sección visual que hace

referencia a un tema específico donde se ingresan datos; se muestran cálculos, resultados y gráficas; o se seleccionan opciones. La disposición secuencial y ordenada de los módulos permite realizar el diseño de una cubierta metálica teniendo en cuenta cada uno de los aspectos necesarios para ello, sin dejar pasar por inadvertido ningún detalle de diseño. También, esta configuración de módulos permite regresar a módulos previamente vistos para realizar los cambios que el usuario prefiera en el diseño de su cubierta metálica; los cambios actualizan el diseño, los cálculos y resultados debido a los procedimientos simultáneos.

4.4 NOMENCLATURA PARA PROCEDIMIENTOS Y CÁLCULOS

La siguiente nomenclatura ha sido establecida para dar explicación a los procedimientos y cálculos que se muestran en el Manual DCMAC, teniendo en cuenta que en el software se puede contemplar una nomenclatura diferente.

Ab : Área de la barra (cm^2).

A_{CS} : Área total de la sección transversal del cordón superior (mm^2).

Ap : Área de la sección del perfil (cm^2).

C_{pb} : Coeficiente de presión en dirección barlovento.

C_{pp} : Coeficiente de presión considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera.

C_{ps} : Coeficiente de presión en dirección sotavento.

Cx' : Distancia desde el borde externo del ala de los perfiles al eje centroidal "X" de la sección de la correa (mm).

Cy' : Distancia desde el borde externo del ala de los perfiles al eje centroidal "Y" de la sección de la correa (mm).

Da_T : Carga muerta total en cada uno de los nodos de la armadura.

Dc_N : Componente normal de la carga muerta total en la correa (KN/m).

Dc_T : Componente tangencial de la carga muerta total en la correa (KN/m).

Dea : Carga muerta puntual correspondiente al peso de los elementos de la armadura (KN).

Dpc_E : Carga muerta estimada correspondiente al peso lineal de la correa (KN/m).

Dpc_N : Componente normal de carga muerta por peso lineal de la correa (KN/m).

Dpc_T : Componente tangencial de carga muerta por peso lineal de la correa (KN/m).

$Dpca$: Carga muerta puntual correspondiente al peso lineal de las correas sobre la armadura. (KN).

Drp_C : Carga muerta real aproximada correspondiente al peso lineal de la correa (KN/m).

$Dtay$: Carga muerta puntual correspondiente al peso de teja sobre la armadura (KN).

$Dtcy$: Carga muerta por el peso de teja linealmente distribuida sobre la correa (KN/m).

$Dtcy_N$: Componente normal de carga muerta correspondiente al peso de teja

$Dtcy_T$: Componente tangencial de carga muerta correspondiente al peso de teja en la correa (KN/m).

E : Módulo de elasticidad para el acero (200000 Mpa).

F_{CI} : Fuerza de diseño del cordón inferior (KN).

F_{CS} : Fuerza de diseño del cordón superior (KN).

Fcr_C : Esfuerzo crítico de pandeo para la correa (Mpa).

$Fcrf_{CS}$: Esfuerzo crítico por pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

$Fcrft_{CS}$: Esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor para el cordón superior (Mpa).

- $F_{cry_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector para el cordón superior (Mpa).
- $F_{crz_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo torsor para el cordón superior (Mpa).
- $F_{n_{NC}}$: Fuerza normal de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (KN/m).
- $F_{n_{TC}}$: Fuerza normal de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (KN/m).
- $F_{t_{NC}}$: Fuerza tangencial de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (KN/m).
- $F_{t_{TC}}$: Fuerza tangencial de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (KN/m).
- G : Módulo de cortante para el acero (Mpa).
- H : Parámetro para calcular el esfuerzo crítico del cordón superior por pandeo flexo-torsor.
- I_b : Inercia de la barra de la correa (mm^4).
- $I_{x'_C}$: Momento de Inercia de la correa respecto al eje centroidal "X" de su sección transversal (mm^4).
- $I_{y'_C}$: Momento de Inercia de la correa respecto al eje centroidal "Y" de su sección transversal (mm^4).
- I_{xp} : Inercia del perfil respecto al eje centroidal "x" de su sección transversal (cm^4).
- I_{yp} : Inercia del perfil respecto al eje centroidal "y" de su sección transversal (cm^4).
- J : Constante torsional para la sección del cordón superior (mm^4).
- L_p : Longitud de ala del perfil (mm).
- L_{aa} : Longitud aferente de armadura (m).
- L_{ac} : Longitud aferente de correa (m).

L_{ah} : Longitud aferente horizontal de correa (m).
 L_{cs} : Longitud del cordón superior desde un apoyo hasta la cumbrera (m).
 L_r : Carga viva distribuida por metro cuadrado (KN/m²).
 L_{ray} : Carga viva puntual aplicada en la armadura (KN).
 L_{rcy} : Carga viva linealmente distribuida sobre la correa (KN/m).
 L_{rcy_N} : Componente normal de carga viva en la correa (KN/m).
 L_{rcy_T} : Componente tangencial de carga viva en la correa (KN/m).
 $L_{t_{CS}}$: Longitud del elemento mas cargado del cordón superior (mm).
 L_{ta} : Longitud total de la armadura (m).
 L_{tc} : Longitud total de la correa (m).
 L_{tcs} : Longitud total del cordón superior (m).
 $L_{xc_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "X" de de la sección transversal del cordón superior (mm).
 $L_{xi_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "x" del perfil (mm).
 $L_{yc_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de de la sección transversal del cordón superior (mm).
 $L_{yi_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "y" del perfil (mm).
 $L_{zi_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "z" del perfil (mm).
 $M_{ux'_{NC}}$: Momento último respecto al eje "X" de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal (KN-m).
 $M_{ux'_{TC}}$: Momento último respecto al eje "X" de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial (KN-m).
 $M_{uy'_{NC}}$: Momento último respecto al eje "Y" de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal (KN-m).

- $Mu_{y'_{TC}}$: Momento último respecto al eje “Y” de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial (KN-m).
- P_b : Presión de viento en dirección barlovento (KN/m²).
- P_e : Peralte de la armadura (m).
- P_i : Peso lineal promedio de los elementos de la armadura (KN/m).
- Pn_{CI} : Fuerza nominal de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior
- P_p : Presión considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera (KN/m²).
- P_s : Presión de viento en dirección sotavento (KN/m²).
- P_t : Peso por metro lineal de la teja seleccionada (Kg/m).
(KN).
- Pu_{CI} : Fuerza última de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior
(KN).
- Pu_{CS} : Fuerza última de diseño del cordón superior (KN).
- S_4 : Coeficiente que tiene en cuenta la densidad del aire.
- S_n : Sumatoria de las cargas y fuerzas normales sobre la correa amplificadas por el factor de la combinación correspondiente (KN/m).
- S_t : Sumatoria de las cargas y fuerzas tangenciales sobre la correa amplificadas por el factor de la combinación correspondiente (KN/m).
- Wba : Fuerza de viento en dirección barlovento sobre la armadura (KN).
- Wba_x : Componente de la fuerza de viento a barlovento sobre los nodos de la armadura en dirección “x” (KN).
- Wba_y : Componente de la fuerza de viento a barlovento sobre los nodos de la armadura en dirección “y” (KN).
- Wbc : Fuerza de viento en dirección barlovento sobre las correas (KN/m).
- Wpa : Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre la armadura (KN).
- Wpa_x : Componente de la fuerza de viento soplando en dirección paralela a la cumbrera y en dirección “x” sobre las armaduras (KN).

Wpa_y : Componente de la fuerza de viento soplando en dirección paralela a la cumbrera y en dirección “y” sobre las armaduras (KN).

Wpc : Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre las correas (KN/m).

Wsa : Fuerza de viento en dirección sotavento sobre la armadura (KN).

Wsa_x : Componente de la fuerza de viento a barlovento sobre las armaduras en dirección “x” (KN).

Wsa_y : Componente de la fuerza de viento a barlovento sobre las armaduras en dirección “y” (KN).

Wsc : Fuerza de viento en dirección sotavento sobre las correas (KN/m).

\bar{X}_0 : Distancia desde el eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma (mm).

Xo : Distancia del eje centroidal “y” del perfil al eje centroidal “Y” de la sección de la correa (cm).

\bar{Y}_0 : Distancia desde el eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma (mm).

Yc : Distancia desde el eje central de la barra al eje centroidal “X” de la sección de la correa (cm).

Yp : Distancia desde el eje centroidal “x” del perfil al eje central de la barra de la correa (cm).
superior al eje del centro de corte de la misma (mm).

Yo : Distancia del eje centroidal “x” del perfil al eje centroidal “X” de la sección de la correa (cm).

a : Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior (mm).

b : Es el ancho total de la sección transversal de la correa comprendido entre los bordes externos de alas de los perfiles (cm).

b' : Ancho de la sección transversal del cordón superior comprendido entre los bordes externos de alas de los perfiles (mm).

b'' : Longitud de ala del perfil para el cálculo de la constante torsional (mm).

- d : Distancia desde el eje centroidal “y” del perfil al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior (mm).
- db : Diámetro de la barra (mm).
- fcn_{NC} : Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).
- fcn_{TC} : Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).
- fct_{NC} : Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).
- fct_{TC} : Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).
- fcu_{NC} : Esfuerzo a compresión último de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).
- fcu_{TC} : Esfuerzo a compresión último de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).
- fn_{NC} : Esfuerzo a tensión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).
- fn_{TC} : Esfuerzo a tensión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).
- ftt_{NC} : Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).
- ftt_{TC} : Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).
- fy_b : Esfuerzo de fluencia de la barra (Mpa).
- fy_p : Esfuerzo de fluencia del perfil (Mpa).
- g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).
- h : Es la altura total de la correa comprendida desde el borde externo de la barra al borde externo del ala de los dos perfiles de la correa (cm).

- k : Factor de longitud efectiva.
- l_i : Longitud del elemento i de la armadura (m).
- q : Presión dinámica del viento (KN/m²).
- \bar{r}_0 : Radio polar de giro con respecto al centro de cortante de la sección transversal del cordón superior (mm).
- r_{iCS} : Radio mínimo de giro de un componente individual del cordón superior (mm).
- $r_{x_{CC}}$: Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "X" de la correa (mm).
- r_{x_P} : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "x" del perfil (mm).
- $r_{x_{CS}}$: Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "X" de la sección transversal del cordón superior (mm).
- $r_{y_{CC}}$: Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la correa (mm).
- r_{y_P} : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "y" del perfil (mm).
- $r_{y_{CS}}$: Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la sección transversal del cordón superior (mm).
- r_{z_P} : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "z" del perfil (mm).
- s : Espaciamientos longitudinales de la celosía en la correa (cm).
- t_C : Número de tirantes entre correas.
- t_{CS} : Número de divisiones del elemento de diseño del cordón superior.
- t_P : Espesor de ala del perfil (mm).
- v : Distancia horizontal comprendida desde el apoyo de la correa hasta el punto de inicio de la primer celosía diagonal (cm).
- x : Distancia del borde de ala al eje centroidal "y" del perfil (cm).

y : Distancia del borde de ala al eje centroidal “x” del perfil (cm).

$\left(\frac{a}{r_i}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

$\left(\frac{b}{t}\right)$: Relación ancho – espesor de una sección.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_C$: La mayor relación de esbeltez para la correa.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{CS}$: La mayor relación de esbeltez para el cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)CC}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la correa.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)CS}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)PC}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil de la correa.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil del cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CC}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la correa.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)M}$: Relación de esbeltez debido a los esfuerzos cortantes en los conectores que unen los dos ángulos por el efecto del pandeo alrededor del eje “Y” de la sección transversal en el cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)PC}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil de la correa.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil del cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Z)PC}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil de la correa.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Z)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil del cordón superior.

f : Coeficientes de reducción de resistencia.

f_f : Coeficiente de resistencia para el estado límite de fluencia bajo esfuerzo normal.

$f_f f_y_b$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo normal en la barra (Mpa).

$f_f f_y_p$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo normal en el perfil (Mpa).

f_v : Coeficiente de resistencia para el estado límite de fluencia bajo esfuerzo de corte.

$f_v f_y_p$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo de corte en el perfil (Mpa).

fF_{cr_C} : Resistencia al pandeo para la correa (Mpa).

$fP_{n_{CI}}$: Resistencia nominal de diseño a tensión del perfil para el cordón inferior (KN).

$fPnf_{CS}$: Resistencia nominal de diseño por pandeo flector del cordón superior (KN).

$fPnft_{CS}$: Resistencia nominal de diseño por pandeo flexo-torsor del cordón superior (KN).

b : Pendiente de la cubierta (Grados).

l_{c_c} : Parámetro de esbeltez para la correa.

$l_{cf_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para pandeo flector en el cordón superior.

$l_{cy_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para el cálculo del esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

l_r : Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto.

p : Número Pi (3.14159265359).

4.5 ENTORNO VISUAL

Se deben distinguir dos tipos de módulos: principales y secundarios. Los principales son aquellos que llevan la secuencia del diseño y en los cuales se deben ingresar los datos, seleccionar opciones o permitir la lectura de resultados preponderantes. Los secundarios son aquellos donde se muestran cálculos, resultados y/o gráficas, siendo de sólo lectura (no hay ingreso de datos); no es necesario visualizar estos módulos para la secuencia de diseño. Los cálculos, resultados y/o gráficas permiten al usuario, entre otros aspectos, ver qué sucede cuando modifica los valores del diseño.

Cada módulo contiene un entorno visual diferente ajustado a las opciones que éste presenta; sin embargo, existen las siguientes características comunes para todos los módulos principales:

1. Menús: Son opciones generales para el programa:

- A. *Guardar*: Se guardan los datos textuales de entrada y salida en archivos de texto (.txt) que se ubican automáticamente en un directorio llamado *DCMAC – Resultados* (por lo general, la ruta es C:\Mis Documentos*DCMAC – Resultados*).
- B. *Salir de DCMAC*: Finaliza la ejecución del programa.
- C. *Ir a*: Permite desplazarse a través de los módulos principales previamente vistos.
- D. *Ayuda*: Contiene diferentes opciones de ayuda al usuario para el entendimiento y conocimiento del programa.
 - a. *Teoría Aplicada de Estructuras Metálicas*: Abre un archivo, en formato de ayuda, que contiene la temática de estructuras metálicas correspondiente al tema del módulo de donde se accione este menú.
 - b. *Entorno Visual*: Abre un archivo, en formato de ayuda, que contiene la explicación del entorno visual del módulo desde donde se accione este menú.
 - c. *Procedimientos y Cálculos*: Abre un archivo, en formato de ayuda, que contiene la explicación de los procedimientos y cálculos más complejos de DCMAC.
 - d. *Teoría General de Estructuras Metálicas*: Abre un archivo, en formato de ayuda, que contiene la temática general de estructuras metálicas.

- e. *Manual DCMAC*: Abre el Manual DCMAC en formato de ayuda.
 - f. *Acerca de...*: Muestra información complementaria de DCMAC.
 - *General*: Información a manera de resumen.
 - *Los Autores*: Información de Los Autores.
 - *DCMAC*: Información de aspectos generales.
2. Botón *Tutor Virtual*: Despliega la información del Tutor Virtual en un *pop-up*.

Figura 15. Botón Tutor virtual



3. Botón *VBA*: Abre el módulo Aprendiendo VBA.

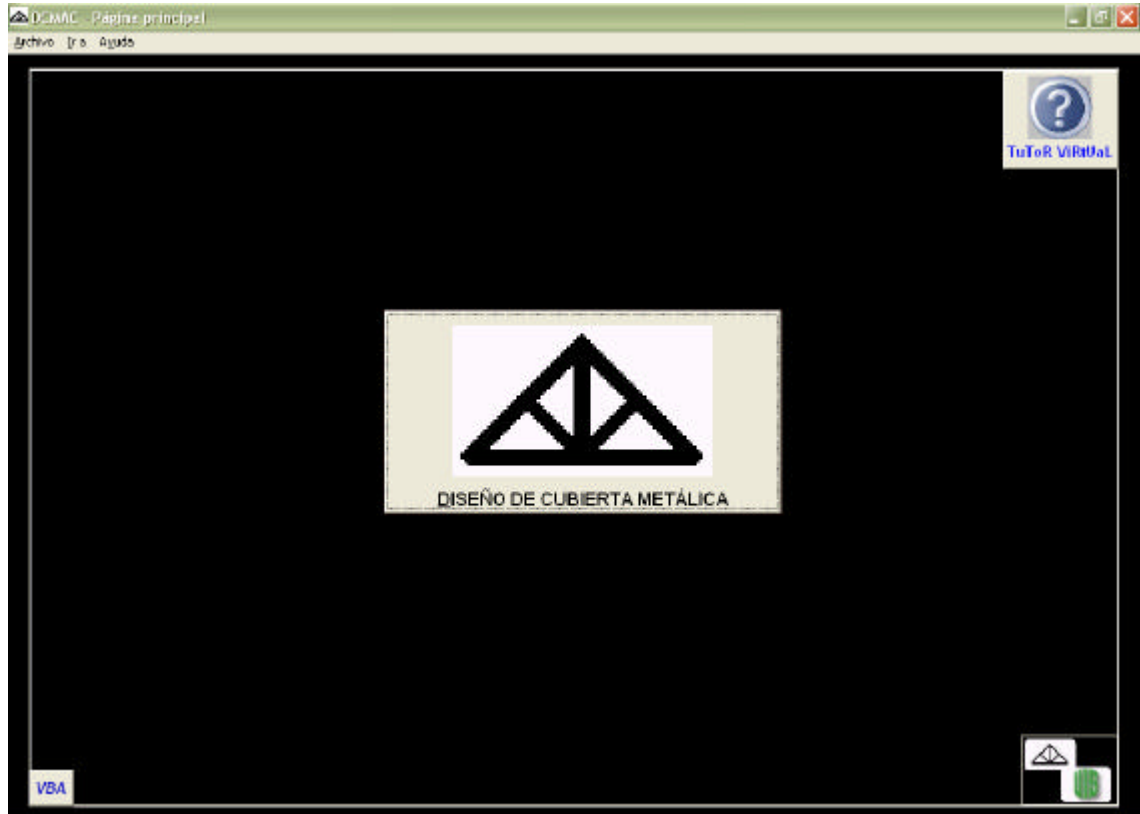
Figura 16. Botón VBA



La descripción de cada uno de los módulos se hace a continuación con el fin de explicar la funcionalidad de cada uno de ellos; sin embargo, los procedimientos de diseño y los cálculos más complejos se explican en la sección Cálculos y procedimientos de diseño.

4.5.1 Módulo Página principal

Figura 17. Módulo Página principal



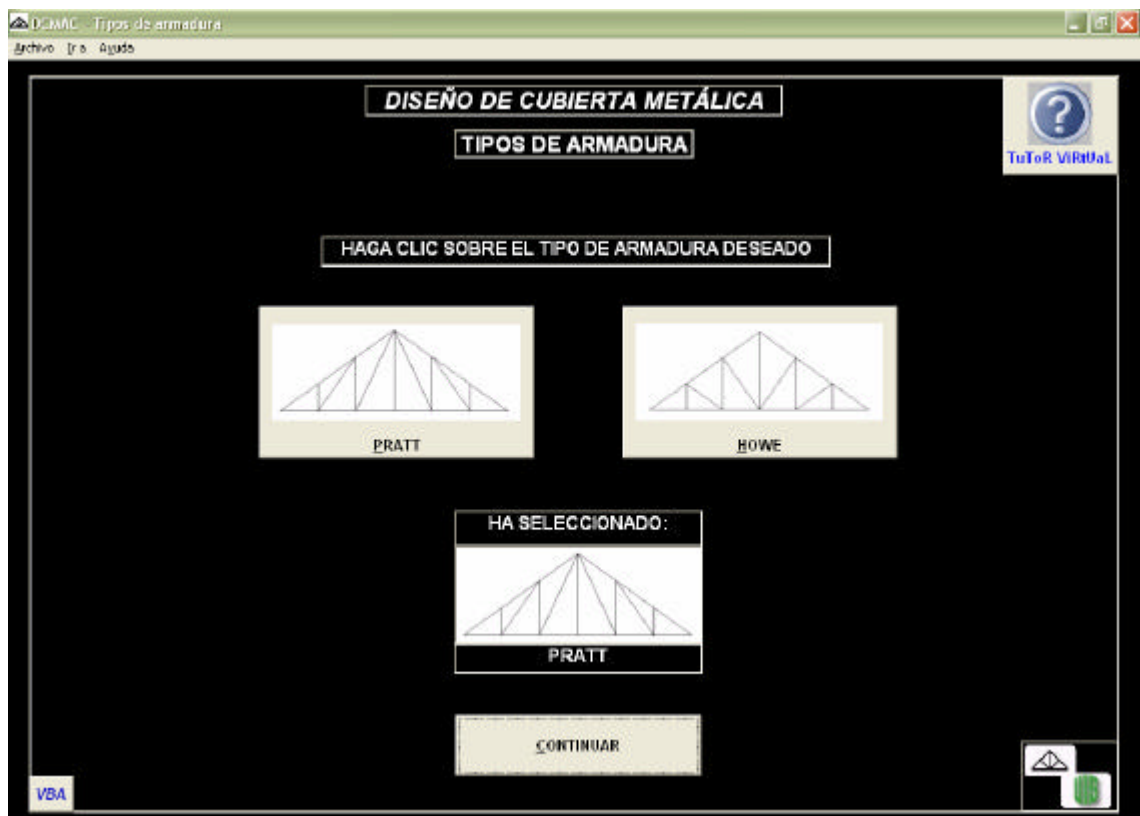
El módulo Página principal es un módulo principal y a su vez, es la parte central de DCMAC. Desde aquí se puede acceder a la sección Diseño de cubierta metálica a través del botón que lleva su nombre.

4.5.2 Módulo Tipos de armadura

El módulo Tipos de armadura es el primer módulo principal. En él se permite seleccionar a través de uno de los botones el tipo de armadura deseado para el diseño de la cubierta. Entre las distintas opciones de tipos de armadura que

tiene un diseñador de cubiertas, dos de las principales y más utilizadas son las armaduras Howe y Pratt. El usuario puede reconocer y diferenciar la configuración estructural de cada uno de estos tipos de armadura por medio de la gráfica de cada uno de los botones. Es necesario seleccionar una de las opciones (Howe o Pratt) haciendo clic sobre uno de los botones para poder avanzar en el diseño de la cubierta metálica; luego de esto aparece un botón que permita continuar con el diseño.

Figura 18. Módulo Tipos de Armadura



4.5.3 Módulo Geometría del área a cubrir

Figura 19. Módulo Geometría del área a cubrir

DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA
GEOMETRÍA DEL ÁREA A CUBRIR

Tutor Virtual

DIMENSIONES DEL ÁREA A CUBRIR:

INGRESE EL VALOR DEL ANCHO TOTAL, LA LONGITUD TOTAL Y LA CANTIDAD DE ARMADURAS EN LOS CAMPOS CORRESPONDIENTES

ANCHO TOTAL (m) (Longitud de armadura):	15
LONGITUD TOTAL (m) (Longitud en dirección perpendicular a las armaduras):	35
CANTIDAD DE ARMADURAS:	8
SEPARACIÓN ENTRE ARMADURAS (m):	5

PLANO DEL ÁREA A CUBRIR VISTA DE ARMADURA CONTINUAR

VBA

El módulo Geometría del área a cubrir es el segundo módulo principal. La geometría del área a cubrir hace referencia al área rectangular proyectada por la cubierta. Para definir la geometría de la cubierta el usuario debe ingresar los valores de Ancho total, Longitud total y Cantidad de armaduras deseado para el diseño de la cubierta. DCMAC controla el ingreso de valores teniendo en cuenta parámetros mínimos y máximos como se muestra en la explicación de cada una de las variables.

- Ancho Total (m): Es la longitud en dirección paralela a las armaduras que coincide con la longitud de las mismas. Este valor tiene un rango de 10 a 50 metros que es justificado por valores comunes y reales

usados en la práctica ingenieril para longitudes de armaduras con el fin de evitar el ingreso de valores incoherentes.

- Longitud total (m): Es la longitud en dirección perpendicular a las armaduras. Este valor tiene un rango de 10 a 50 metros también justificado por valores lógicos y comunes en el diseño de cubiertas.
- Cantidad de armaduras: Como su nombre lo indica, este valor es el número de armaduras que se distribuyen en la longitud total del área de la cubierta. La cantidad mínima de armaduras es de 2, ubicadas cada una en un extremo, mientras la cantidad máxima depende de la longitud total del área de la cubierta y de una separación mínima entre ellas que es de 3 metros.
- Separación entre armaduras (m): Muestra el resultado de la distribución uniforme de armaduras en la longitud total de la cubierta.

Desde este módulo se puede acceder al plano de la geometría en planta de la cubierta por medio del botón Plano del área a cubrir; también se visualiza la armadura haciendo clic en el botón Vista de armadura, aunque éste se presenta inactivo si el usuario aún no ha visualizado el módulo Tipos de teja.

4.5.3.1 Módulo Plano del área a cubrir

El módulo Plano del área a cubrir es el primer módulo secundario. En este módulo se puede visualizar la distribución de las armaduras y las dimensiones del área a cubrir, donde la dirección “x” corresponde al Ancho total y la dirección “y” a la Longitud total. Las dimensiones se muestran en metros.

Figura 20. Módulo Plano del área a cubrir



4.5.4 Módulo Tipos de teja

El módulo Tipos de teja es el tercer módulo principal. En él se permite seleccionar el tipo de teja para el diseño de la cubierta. DCMAC permite diseñar con tejas comerciales; en total son alrededor de 200 las opciones que se tienen para seleccionar el tipo de teja. El usuario debe seleccionar primero la marca de teja, luego el tipo de teja y finalmente la referencia de teja; para ello puede diferenciar cada una de las tejas de acuerdo a sus especificaciones. Para cada referencia de teja, DCMAC muestra una imagen ilustrativa junto con un corte de su sección que lleva las dimensiones principales.

Figura 21. Módulo Tipos de teja



Las especificaciones que se muestran para cada referencia de teja son las siguientes:

- Nombre.
- Longitud útil (m).
- Ancho útil (m).
- Longitud total (m).
- Ancho total (m).
- Peso (Kg/m^2).
- Pendiente mínima (%).
- Pendiente máxima (%).
- Traslapo longitudinal (m).

- Traslapo lateral (m).
- Separación entre correas (m).
- Cantidad de correas intermedias.
- Distancia por caballete (m).

Estos datos son tomados de las especificaciones técnicas suministradas por los proveedores.

El usuario puede acomodar el tamaño de las columnas donde se muestran las referencias de las tejas y sus especificaciones con el fin de leerlas de una manera adecuada.

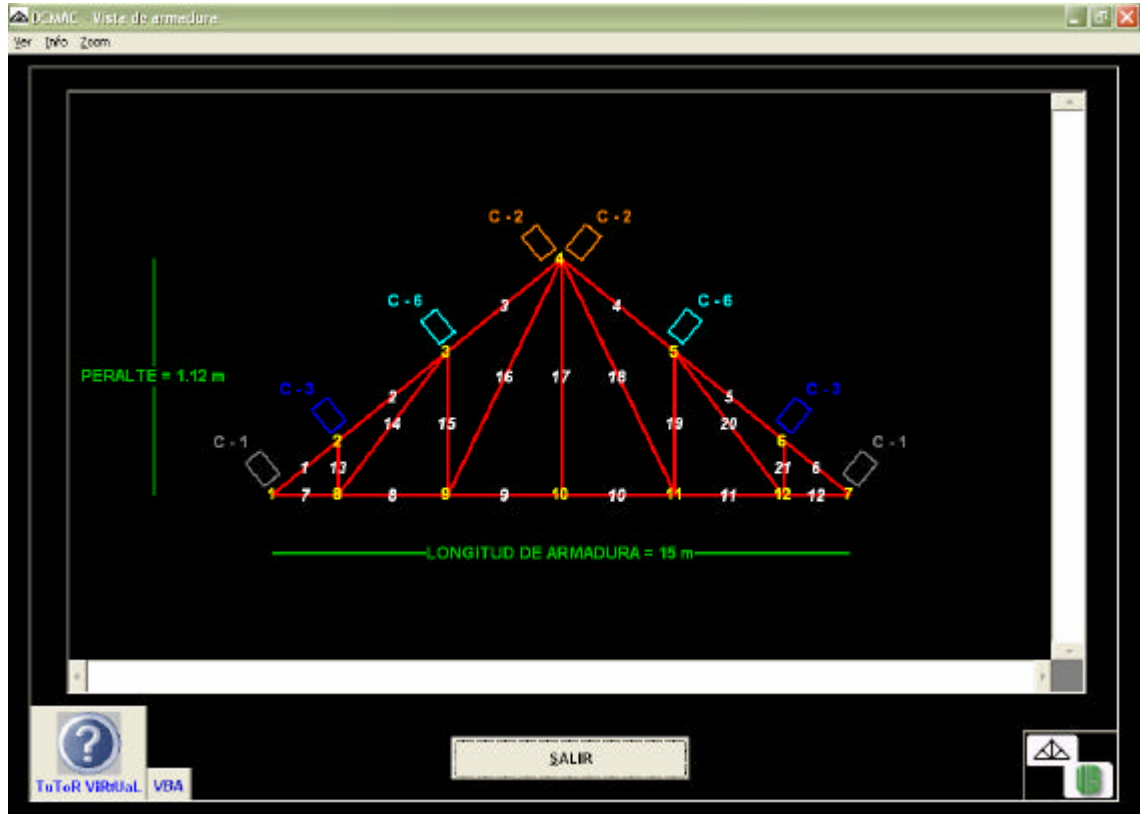
En el módulo se muestra el valor de la pendiente de la cubierta. DCMAC permite variar el valor de la pendiente en el módulo Pendiente de la cubierta.

Dependiendo de la teja seleccionada y de la geometría de la cubierta, el usuario puede cambiar la distribución de la teja seleccionando las opciones “Agregar una lámina más de teja seleccionada” y “Quitar una lámina de teja seleccionada”. En caso de no haber opciones para cambiar la distribución de la teja, el módulo muestra la opción “No se encontró una distribución diferente de teja”. Los cambios realizados en la distribución de la teja se pueden visualizar haciendo clic en el botón Vista de armadura.

El módulo permite al usuario ver los datos de la teja seleccionada y los datos de la teja complementaria a través de dos botones nombrados con las respectivas opciones.

4.5.4.1 Módulo Vista de armadura

Figura 22. Módulo Vista de armadura



El módulo Vista de armadura es un módulo secundario. En él se permite visualizar la armadura con sus correas y una nomenclatura que se explica a continuación:

- Numeración de los nodos de la armadura: Los nodos de la armadura están secuencialmente enumerados de izquierda a derecha, comenzando por los nodos del cordón superior y seguidos por los nodos del cordón inferior.

- Numeración de los elementos de la armadura: Los elementos de la armadura también están secuencialmente enumerados de izquierda a derecha, comenzando por los elementos del cordón superior, seguidos por los elementos del cordón inferior y luego por los elementos del alma de la armadura.

- Numeración de las correas: La numeración de las correas corresponde a los diferentes tipos de correas presentes en el diseño. La presencia de los diferentes tipos de correas depende de las especificaciones de la teja seleccionada y de la geometría de la armadura. DCMAC considera hasta seis tipos de correas según el diseño de la cubierta los cuales son mostrados a continuación:
 - C1: Correa situada en los apoyos de la armadura.
 - C2: Correa situada en la cumbrera de la armadura.
 - C3: Correa situada en el extremo de la teja seleccionada y la teja complementaria.
 - C4: Correa intermedia de la teja seleccionada.
 - C5: Correa intermedia de la teja complementaria.
 - C6: Correa situada entre los extremos de dos láminas continuas de teja de la teja seleccionada.

El esquema de la armadura también muestra el peralte y la longitud de la armadura en metros.

El menú de este módulo mediante sus opciones proporciona al usuario varias formas de visualizar la armadura. A continuación se explican las opciones del menú.

- La opción *Ver – Nomenclatura* permite que el usuario varíe las diferentes nomenclaturas del esquema, permitiendo hacer combinaciones de las

mismas con el fin de visualizar la(s) nomenclatura(s) deseada(s). Las opciones que DCMAC tiene son las siguientes:

1. Todo: Permite visualizar el esquema de la armadura con la nomenclatura de nodos, elementos y correas.
 2. Sólo nodos: Permite visualizar el esquema de la armadura con sólo la nomenclatura de nodos.
 3. Sólo elementos: Permite visualizar el esquema de la armadura con sólo la nomenclatura de elementos.
 4. Sólo correas: Permite visualizar el esquema de la armadura con sólo la nomenclatura de correas.
 5. Nodos y elementos: Permite visualizar el esquema de la armadura con la nomenclatura de nodos y elementos.
 6. Nodos y correas: Permite visualizar el esquema de la armadura con la nomenclatura de nodos y correas.
 7. Correas y elementos: Permite visualizar el esquema de la armadura con la nomenclatura de correas y elementos.
-
- La opción *Info – Colores* le informa al usuario los diferentes colores que usa DCMAC para diferenciar los elementos y la nomenclatura de los mismos. Las colores que utiliza DCMAC son los siguientes:

1. Nomenclatura

- Blanco: Elementos.
- Amarillo: Nodos.
- Gris oscuro: Correas tipo C1.
- Naranja: Correas tipo C2.
- Azul fuerte: Correas tipo C3.
- Verde claro: Correas tipo C4.
- Púrpura: Correas tipo C5.
- Azul claro: Correas tipo C6.

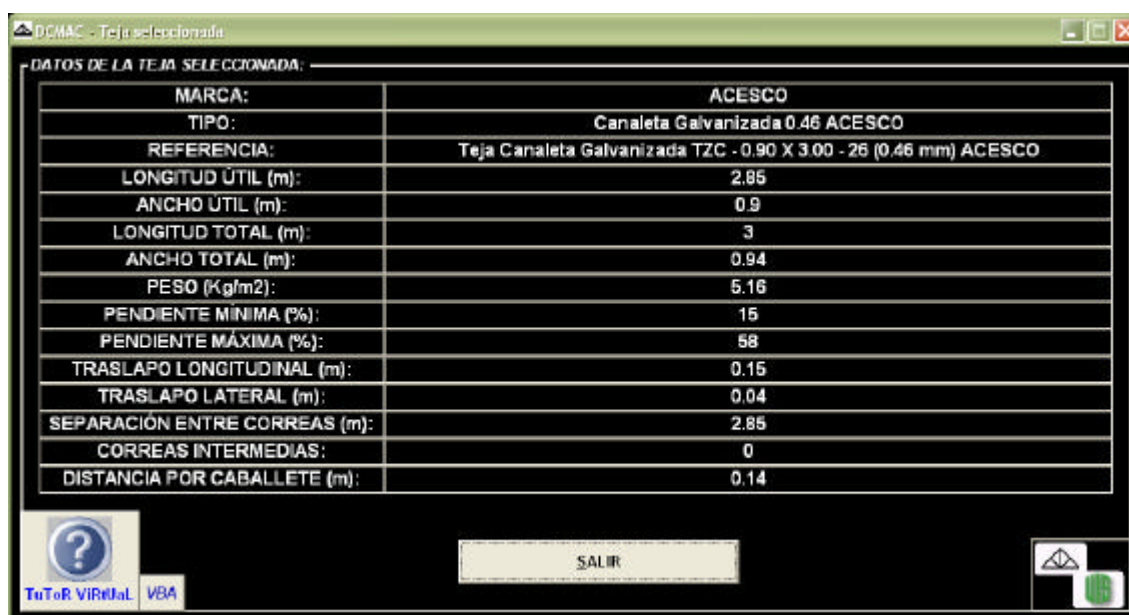
2. Partes

- Rojo: Elementos.
 - Gris oscuro: Correas tipo C1.
 - Naranja: Correas tipo C2.
 - Azul fuerte: Correas tipo C3.
 - Verde claro: Correas tipo C4.
 - Púrpura: Correas tipo C5.
 - Azul claro: Correas tipo C6.
-
- La opción *Zoom* permite al usuario modificar el tamaño de la armadura. El tamaño ajustado es una de las opciones de DCMAC y como su nombre lo indica ajusta el esquema de la armadura a la pantalla; mientras las demás opciones, 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, 7x, 8x, y 9x permiten visualizar al tamaño deseado por el usuario.

4.5.4.2 Módulo Teja seleccionada

El módulo Teja seleccionada es un módulo secundario, donde se muestra la marca, el tipo, la referencia y todas las especificaciones de la teja seleccionada para el diseño de la cubierta. Este módulo permite una fácil lectura y por ende, una buena interpretación de las especificaciones de la teja seleccionada.

Figura 23. Módulo Teja seleccionada



MARCA:	ACESCO
TIPO:	Canaleta Galvanizada 0.46 ACESCO
REFERENCIA:	Teja Canaleta Galvanizada T2C - 0.90 X 3.00 - 26 (0.46 mm) ACESCO
LONGITUD ÚTIL (m):	2.85
ANCHO ÚTIL (m):	0.9
LONGITUD TOTAL (m):	3
ANCHO TOTAL (m):	0.94
PESO (Kg/m ²):	5.16
PENDIENTE MÍNIMA (%):	15
PENDIENTE MÁXIMA (%):	58
TRASLAPO LONGITUDINAL (m):	0.15
TRASLAPO LATERAL (m):	0.04
SEPARACIÓN ENTRE CORREAS (m):	2.85
CORREAS INTERMEDIAS:	0
DISTANCIA POR CABALLETE (m):	0.14

4.5.4.3 Módulo Teja complementaria

El módulo Teja complementaria es un módulo secundario, donde se muestra por separado los datos generales de la teja complementaria y los datos debido a su ubicación. Los datos mostrados son los siguientes:

- Datos generales de la teja complementaria:
 - Referencia de teja.
 - Longitud útil (m).
 - Ancho útil (m).
 - Longitud total (m).
 - Ancho total (m).
 - Peso (Kg/m²).
 - Pendiente mínima (%).
 - Pendiente máxima (%).

- Traslapo longitudinal (m).
- Traslapo lateral (m).
- Separación entre correas (m).
- Cantidad de correas intermedias.

Estos datos son tomados de las especificaciones técnicas suministradas por los proveedores.

- Datos debido a la ubicación de la teja complementaria:
 - Longitud útil' (m): Es la distancia entre correas tipo C1 y C3 debido a la distribución de la teja seleccionada por el usuario y de la teja complementaria seleccionada por DCMAC.
 - Ancho útil (m): Ancho útil de la teja complementaria.
 - Longitud total (m): Longitud total de la teja complementaria.
 - Ancho total (m): Ancho total de la teja complementaria.
 - Pendiente (%): Valor de la pendiente de la cubierta.
 - Sobrante longitudinal (m): Es el sobrante de teja que corresponde a la diferencia entre la Longitud total de la teja complementaria y la Longitud útil' debido a su ubicación.
 - Traslapo lateral (m): Traslapo lateral de la teja complementaria.
 - Separación entre correas: El cálculo de la distancia de separación entre correas resulta de la relación entre la Longitud útil' debido a la ubicación de la teja complementaria y el número de correas intermedias mas uno.
 - Correas intermedias: Número de correas intermedias de la teja complementaria.

Nota: DCMAC asume la totalidad de correas intermedias de la teja complementaria suministrado por las especificaciones de teja.

Figura 24. Módulo Teja complementaria

DATOS GENERALES DE LA TEJA COMPLEMENTARIA:	
REFERENCIA:	Teja Canaleta Galvanizada TZC - 0.90 X 3.00 - 26 (0.46 mm) ACESCO
LONGITUD ÚTIL (m):	2.85
ANCHO ÚTIL (m):	0.9
LONGITUD TOTAL (m):	3
ANCHO TOTAL (m):	0.94
PESO (kg/m ²):	5.16
PENDIENTE MÍNIMA (%):	16
PENDIENTE MÁXIMA (%):	58
TRASLAPLO LONGITUDINAL (m):	0.15
TRASLAPLO LATERAL (m):	0.04
SEPARACIÓN ENTRE CORREAS (m):	2.85
CORREAS INTERMEDIAS:	0

DATOS DEBIDO A LA UBICACIÓN DE LA TEJA COMPLEMENTARIA:	
LONGITUD ÚTIL ' (m):	1.74
ANCHO ÚTIL (m):	0.9
LONGITUD TOTAL (m):	3
ANCHO TOTAL (m):	0.94
PENDIENTE (%):	16
SOBRANTE LONGITUDINAL (m):	1.26
TRASLAPLO LATERAL (m):	0.04
SEPARACIÓN ENTRE CORREAS (m):	1.74
CORREAS INTERMEDIAS:	0

TeToR VIRTUAL VBA SALIR

4.5.5 Módulo Pendiente de la cubierta

El módulo Pendiente de la cubierta es el cuarto módulo principal. En este módulo se muestran los siguientes datos:

- Referencia de la teja seleccionada: Corresponde al nombre de la referencia de teja seleccionada por el usuario en el módulo Tipos de teja.
- Referencia de la teja complementaria: Corresponde al nombre de la referencia de teja complementaria seleccionada por DCMAC.

- Pendiente mínima (%): Valor de la pendiente mínima de la referencia de teja seleccionada.
- Pendiente máxima (%): Valor de la pendiente máxima de la referencia de teja seleccionada. DCMAC asume este valor igual a la máxima pendiente del caballete articulado que la teja seleccionada disponga, en caso de no tener referencia de caballete alguno, este valor es equivalente a 58 % (aprox. 30 grados).

En este módulo el usuario puede ingresar un valor de pendiente para la cubierta teniendo en cuenta que éste se encuentre en el rango de valores de pendiente mínima y máxima mostrados. El usuario tiene la opción de visualizar la armadura antes de seguir con el diseño de la cubierta haciendo clic en el botón Vista de armadura.

Figura 25. Módulo Pendiente de la cubierta

DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA
PENDIENTE DE LA CUBIERTA

TEJAS:

REFERENCIA DE LA TEJA SELECCIONADA:	Teja Canaleta Galvanizada TZC - 0.90 X 3.00 - 26 (0.46 mm) ACESCO
REFERENCIA DE LA TEJA COMPLEMENTARIA:	Teja Canaleta Galvanizada TZC - 0.90 X 3.00 - 26 (0.46 mm) ACESCO

PENDIENTE DE LA CUBIERTA:

PENDIENTE MÍNIMA (%):	15
PENDIENTE MÁXIMA (%):	58
PENDIENTE DE LA CUBIERTA (%):	15 8.53°

VISTA DE ARMADURA CONTINUAR

4.5.6 Módulo Geometría de las armaduras

Figura 26. Módulo Geometría de las armaduras



DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA
GEOMETRÍA DE LAS ARMADURAS

TIPO DE ARMADURA:	PRATT
LONGITUD DE ARMADURA (m):	15
LONGITUD TOTAL DEL CORDÓN SUPERIOR (m):	15.16
LONGITUD DEL CORDÓN SUPERIOR DESDE UN APOYO HASTA LA CUMBRERA (m):	7.58
LONGITUD ÚTIL DEL CORDÓN SUPERIOR (m):	7.44
PERALTE (DISTANCIA VERTICAL DESDE EL NIVEL DE LOS APOYOS A LA CUMBRERA) (m):	1.12
PENDIENTE DE CUBIERTA (%):	15
CANTIDAD DE CORREAS SOBRE TODA LA ARMADURA:	8
CANTIDAD DE NODOS ENTRE CORREAS:	<input type="radio"/> 0 <input checked="" type="radio"/> 1
CANTIDAD DE PANELES EN TODA LA ARMADURA:	6

VISTA DE ARMADURA CONTINUAR

VBA

El módulo Geometría de las armaduras es el quinto módulo principal. Los datos que se muestran en este módulo son los siguientes:

- Tipo de Armadura: Armadura seleccionada en el módulo Tipos de armadura.
- Longitud de armadura (m): Valor correspondiente al Ancho total ingresado por el usuario en el módulo Geometría del área a cubrir.

- Longitud total del cordón superior (m): Longitud total del cordón superior desde un apoyo de la armadura al otro pasando por la cumbrera.

$$L_{tcs} = 2 \left(\frac{L_{ta}/2}{\cos(\mathbf{b})} \right)$$

Donde:

L_{tcs} : Longitud total del cordón superior (m).

L_{ta} : Longitud total de la armadura (m).

\mathbf{b} : Pendiente de la cubierta (Grados).

- Longitud del cordón superior desde un apoyo hasta la cumbrera (m).

$$L_{cs} = \frac{L_{tcs}}{2}$$

Donde:

L_{cs} : Longitud del cordón superior desde un apoyo hasta la cumbrera (m).

- Longitud útil del cordón superior (m): Es la diferencia entre la Longitud del cordón superior desde un apoyo hasta la cumbrera y la distancia por caballete referenciada en las especificaciones de la teja seleccionada.
- Peralte (Distancia vertical desde el nivel de los apoyos a la cumbrera) (m).

$$Pe = \tan(\mathbf{b}) \left(\frac{Lta}{2} \right)$$

Donde:

Pe : Peralte de la armadura (m).

- Pendiente de la cubierta (%).
- Cantidad de correas sobre toda la armadura.
- Cantidad de paneles en toda la armadura.

En este módulo el usuario puede seleccionar la opción de armadura con o sin nodos entre correas y además la opción de visualizar la armadura haciendo clic en el botón Vista de armadura.

4.5.7 Módulo Ubicación de los nodos y los elementos

El módulo Ubicación de los nodos y los elementos es el sexto módulo principal. Este es un módulo de solo lectura donde el usuario puede identificar los nodos y los elementos que conforman la armadura mediante dos cuadros que muestran la siguiente información:

Nodos:

- Ítem: Es la nomenclatura del nodo que se muestra en el módulo Vista de armadura.
- Coordenada X (m): Distancia horizontal calculada a partir del origen, ubicado en el nodo 1.

- Coordenada Y (m): Distancia vertical calculada a partir del origen, ubicado en el nodo 1.
- Cargado: Esta información especifica si el nodo está cargado con alguna correa tipo C1, C2, C3, C4, C5, C6 o si no lo está.

Elementos:

- Ítem: Es la nomenclatura del elemento que se muestra en el módulo Vista de armadura.
- Nodo inicial: Nodo inicial del elemento.
- Nodo final: Nodo final del elemento.
- Función: Esta información indica si el elemento pertenece al cordón superior, al cordón inferior o si es un paral, una diagonal o el pendolón de la armadura.

El usuario tiene acceso al módulo Vista de armadura por medio de un botón que lleva el mismo nombre con el fin de identificar la ubicación de los nodos y de los elementos en la armadura.

Figura 27. Ubicación de los nodos y los elementos

DCMAC - Ubicación de los nodos y los elementos

Archivo | Ir a | Ayuda

DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA

UBICACIÓN DE LOS NODOS Y LOS ELEMENTOS

Tutor Virtual

NODOS			
ÍTEM	COORDENADA X (m)	COORDENADA Y (m)	CARGADO
1	0	0	Correa C-1
2	1.466	0.211	Correa C-3
3	4.225	0.634	Correa C-6
4	7.043	1.056	Correa C-6
5	10	1.5	Correas C-2
6	12.957	1.056	Correa C-6
7	15.775	0.634	Correa C-6
8	18.594	0.211	Correa C-3
9	20	0	Correa C-1
10	1.466	0	NO
11	4.225	0	NO
12	7.043	0	NO
13	10	0	NO
14	12.957	0	NO
15	15.775	0	NO

ELEMENTOS			
ÍTEM	NODO INICIAL	NODO FINAL	FUNCIÓN
1	1	2	Cordón superior
2	2	3	Cordón superior
3	3	4	Cordón superior
4	4	5	Cordón superior
5	5	6	Cordón superior
6	6	7	Cordón superior
7	7	8	Cordón superior
8	8	9	Cordón superior
9	1	10	Cordón inferior
10	10	11	Cordón inferior
11	11	12	Cordón inferior
12	12	13	Cordón inferior
13	13	14	Cordón inferior
14	14	15	Cordón inferior
15	15	16	Cordón inferior

VISTA DE ARMADURA CONTINUAR

VBA

4.5.8 Módulo Presión de viento

El módulo Presión de viento es el séptimo módulo principal. DCMAC calcula la presión producida por el viento según el análisis simple, considerado en el Capítulo B.6 de la NSR-98.

Figura 28. Módulo Presión de viento

The screenshot shows a software window titled 'DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA' with a sub-section 'PRESIÓN DE VIENTO'. It contains several input fields and tables for calculating wind pressure. A 'Tutor Virtual' icon is visible in the top right corner.

COEFICIENTE DE PRESIÓN (C_p):

EDIFICACIÓN CON LADOS ABIERTOS:	<input type="radio"/> SI	<input checked="" type="radio"/> NO
COEFICIENTE DE PRESIÓN A BARLOVENTO (C_{pb}) =	-0.8	
COEFICIENTE DE PRESIÓN A SOTAVENTO (C_{ps}) =	-0.5	
COEFICIENTE DE PRESIÓN PARALELO A LA CUMBRERA (C_{pp}) =	-0.5	

PRESIÓN DINÁMICA (q):

VELOCIDAD DEL VIENTO (KPH) =	60	MAPA
ALTURA DESDE EL NIVEL DEL TERRENO (m) =	15	
PRESIÓN DINÁMICA (q) (KN/m ²) =	0.22	

COEFICIENTE S_d :

ALTITUD (m. s. n. m) =	960
COEFICIENTE S_d =	0.88

PRESIÓN DEL VIENTO:

PRESIÓN A BARLOVENTO (P_b) (KN/m ²) =	-0.156
PRESIÓN A SOTAVENTO (P_s) (KN/m ²) =	-0.097
PRESIÓN PARALELA A LA CUMBRERA (P_p) (KN/m ²) =	-0.117

Buttons for 'VBA' and 'CONTINUAR' are visible at the bottom.

Las opciones de este módulo son las siguientes:

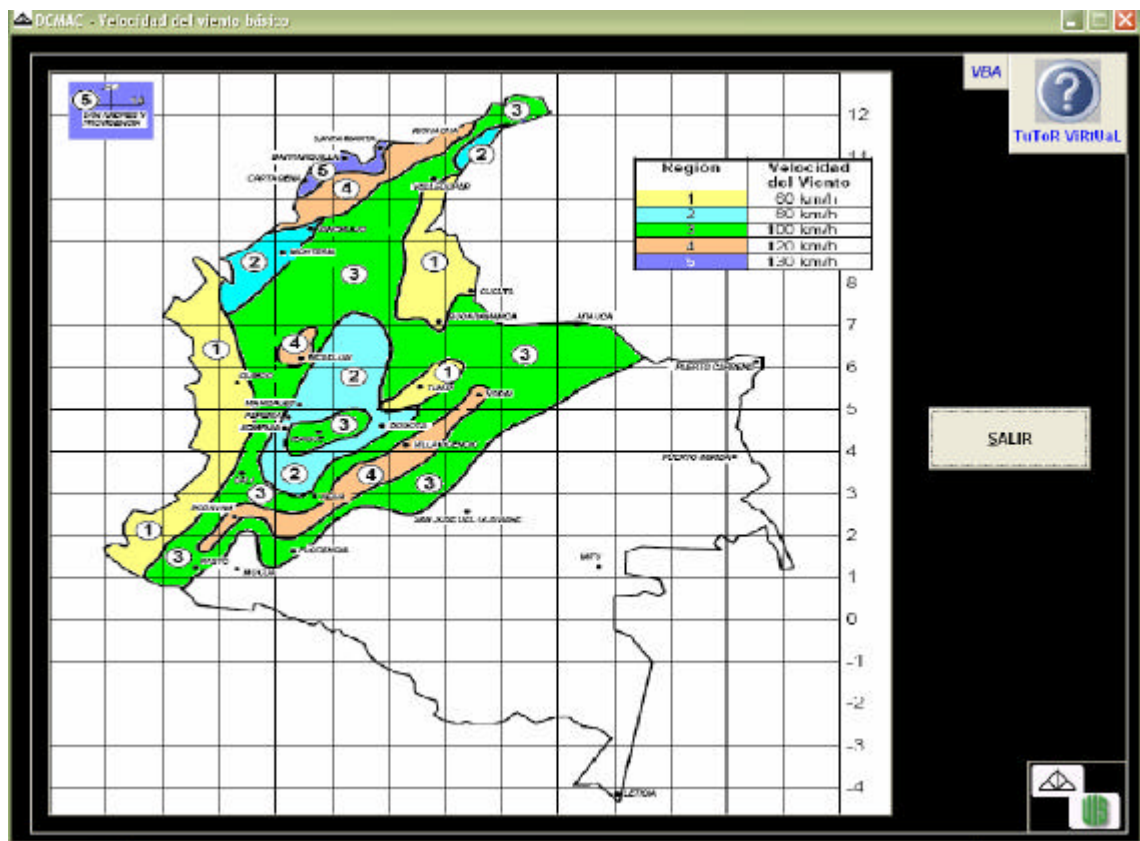
- Edificación con lados abiertos: El usuario puede seleccionar esta opción si la cubierta cuenta con lados abiertos.
- Coeficiente de presión a barlovento (C_{pb}): Coeficiente de presión en dirección de donde viene el viento.
- Coeficiente de presión a sotavento (C_{ps}): Coeficiente de presión en dirección hacia donde va el viento.

- Coeficiente de presión paralelo a la cumbrera (C_{pp}): Coeficiente de presión considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera.
- Presión dinámica del viento (q) (KN/m²): Para calcular este valor es necesario seleccionar la velocidad del viento; para ello el usuario puede ver el mapa de amenaza eólica: velocidad del viento básico haciendo clic en el botón Mapa. También es necesario ingresar la altura desde el nivel del terreno en metros.
- Coeficiente S_4 : Coeficiente que tiene en cuenta la densidad del aire. Para calcular este valor es necesario ingresar la altitud en metros sobre el nivel del mar.
- Presión a barlovento (KN/m²): Presión de viento en dirección de donde viene el viento.
- Presión a sotavento (KN/m²): Presión de viento en dirección hacia donde va el viento.
- Presión paralela a la cumbrera (KN/m²): Presión considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera.

4.5.8.1 Módulo Viento básico de diseño

El módulo Viento básico de diseño es un módulo secundario donde se muestra el mapa de amenaza eólica: velocidad del viento básico. El usuario puede identificar la velocidad del viento de la región correspondiente para luego seleccionarla en el módulo Presión de viento con el fin de calcular la presión dinámica del viento.

Figura 29. Módulo Viento básico de diseño



4.5.9 Módulo Análisis de fuerzas en correas

El módulo Análisis de fuerzas en correas es el octavo módulo principal. Este módulo muestra los siguientes datos:

- Pendiente de la cubierta.
- Carga viva (KN/m^2): Es el valor de carga viva por unidad de área para cubiertas inclinadas de estructuras metálicas según la Norma NSR-98.

Figura 30. Módulo Análisis de fuerzas en correas

DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA
ANÁLISIS DE FUERZAS EN CORREAS

PENDIENTE DE LA CUBIERTA: 15 % 8.53 °

CARGA VIVA (KN/m²) = 0.5

PESO LINEAL INICIAL DE LAS CORREAS:

PESO LINEAL DE LA CORREA C1 (KN/m) =	0.07
PESO LINEAL DE LA CORREA C2 (KN/m) =	0.07
PESO LINEAL DE LA CORREA C3 (KN/m) =	0.07
PESO LINEAL DE LA CORREA C4 (KN/m) =	0.00
PESO LINEAL DE LA CORREA C5 (KN/m) =	0.00
PESO LINEAL DE LA CORREA C6 (KN/m) =	0.07

CORREAS APTAS PARA CONFIGURACIÓN DE DOS PERFILES Y UNA BARRA (SECCIÓN TRIANGULAR):

CORREA C1:	APTA
CORREA C2:	APTA
CORREA C3:	APTA
CORREA C4:	NO EXISTE
CORREA C5:	NO EXISTE
CORREA C6:	APTA

CARGAS Y FUERZAS DE DISEÑO DE LAS CORREAS CONTINUAR

El usuario puede ingresar una estimación del peso lineal inicial de las correas para tener en cuenta la carga muerta por su peso propio en el diseño de las mismas. DCMAC muestra activas las casillas de los tipos de correas presentes en el diseño de la cubierta; mientras que las casillas correspondientes a los tipos de correas que no se presentan en el diseño se muestran inactivas.

Teniendo en cuenta la cargas y fuerzas de las correas, DCMAC muestra en el módulo si la sección de cada tipo de correa es apta para la configuración de dos perfiles y una barra (sección triangular). Debido a que DCMAC solo diseña correas de sección triangular, el tipo de correa que presente una resultante de cargas normal ascensional no se puede diseñar con DCMAC.

Correas aptas para configuración de dos perfiles y una barra (sección triangular)

Antes de continuar con el diseño, el módulo permite visualizar las cargas y fuerzas de diseño de las correas a través de un botón nombrado de esta forma.

4.5.9.1 Módulo Cargas y fuerzas de diseño de las correas

Figura 31. Módulo Cargas y fuerzas de diseño de las correas

SELECCIONE EL TIPO DE CORREA: Correa C1

Correa C1:

FUERZAS SIN AMPLIFICAR:		FUERZAS AMPLIFICADAS:			
Dy correa (kN/m)	0.07	Combo	Dn total (kN/m)	Lrn (kN/m)	Dt correa
Dn correa (kN/m)	0.059	1,4 D	0.158	0	0.0
Dt correa (kN/m)	0.01	1,2 D + 0,5 Lr	0.135	0.213	0.0
Dy teja (kN/m)	0.044	1,2 D + 1,6 Lr + 0,8 Wb	0.135	0.682	0.0
Dn teja (kN/m)	0.044	1,2 D + 1,6 Lr + 0,8 Ws	0.135	0.682	0.0
Dt teja (kN/m)	0.007	1,2 D + 1,6 Lr + 0,8 Wp	0.135	0.682	0.0
Dn total (kN/m)	0.113	1,2 D + 0,5 Lr + 1,3 Wb	0.135	0.213	0.0
Dt total (kN/m)	0.017	1,2 D + 0,5 Lr + 1,3 Ws	0.135	0.213	0.0
Lry (kN/m)	0.431	1,2 D + 0,5 Lr + 1,3 Wp	0.135	0.213	0.0
Lrn (kN/m)	0.426	0,9 D - 1,3 Wb	0.102	0	0.0
Lrt (kN/m)	0.064	0,9 D - 1,3 Ws	0.102	0	0.0
Wb (kN/m)	-0.136	0,9 D - 1,3 Wp	0.102	0	0.0
Ws (kN/m)	-0.085				

COMBO DE LA MAYOR FUERZA NORMAL:		1,2*D + 1,6*Lr + 0,8*Ws
MAYOR FUERZA NORMAL (kN/m) =		0.75
FUERZA TANGENCIAL CORRESPONDIENTE (kN/m) =		0.123

COMBO DE LA MAYOR FUERZA TANGENCIAL:		1,2*D + 1,6*Lr + 0,8*Ws
MAYOR FUERZA TANGENCIAL (kN/m) =		0.123
FUERZA NORMAL CORRESPONDIENTE (kN/m) =		0.75

SALIR

El módulo Cargas y fuerzas de diseño de las correas es un módulo secundario que permite al usuario seleccionar los tipos de correas presentes en el diseño de la cubierta para visualizar los siguientes datos:

- Fuerzas sin amplificar: Los valores de las fuerzas y cargas de las correas sin amplificar que se muestran son los siguientes:

- Dy correa (KN/m): Carga muerta correspondiente al peso lineal de las correas ingresada por el usuario en el módulo Análisis de fuerzas en correas.
 - Dn correa (KN/m): Componente normal de carga muerta por peso lineal de las correas.
 - Dt correa (KN/m): Componente tangencial de carga muerta por peso lineal de las correas.
 - Dy teja (KN/m): Carga muerta correspondiente al peso de teja.
 - Dn teja (KN/m): Componente normal de carga muerta correspondiente al peso de teja.
 - Dt teja (KN/m): Componente tangencial de carga muerta correspondiente al peso de teja.
 - Dn total (KN/m): Componente normal de la carga muerta total.
 - Dt total (KN/m): Componente tangencial de la carga muerta total.
 - Lry (KN/m): Carga viva.
 - Lrn (KN/m): Componente normal de carga viva.
 - Lrt (KN/m): Componente tangencial de carga viva.
 - Wb (KN/m): Fuerza de viento en dirección barlovento.
 - Ws (KN/m): Fuerza de viento en dirección sotavento.
 - Wp (KN/m): Fuerza de viento en dirección paralela a la cumbrera.
- Fuerzas y cargas amplificadas: DCMAC muestra las fuerzas y cargas de las correas amplificadas para once combinaciones de carga.

Combinaciones de carga:

- 1.4 D
- 1.2 D + 0.5 Lr
- 1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Wb
- 1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Ws

- $1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Wp$
- $1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Wb$
- $1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Ws$
- $1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Wp$
- $0.9 D - 1.3 Wb$
- $0.9 D - 1.3 Ws$
- $0.9 D - 1.3 Wp$

Las fuerzas amplificadas por las combinaciones de carga que se muestran en el módulo son las siguientes:

- *Dn correa* (KN/m): Componente normal de carga muerta por peso lineal de las correas amplificada por el factor de la combinación correspondiente.
- *Dn teja* (KN/m): Componente normal de carga muerta correspondiente al peso de teja amplificada por el factor de la combinación correspondiente.
- *Dn total* (KN/m): Componente normal de carga muerta total amplificada por el factor de la combinación correspondiente.
- *Lrn* (KN/m): Componente normal de carga viva amplificada por el factor de la combinación correspondiente.
- *Dt correa* (KN/m): Componente tangencial de carga muerta por peso lineal de las correas amplificada por el factor de la combinación correspondiente.
- *Dt teja* (KN/m): Componente tangencial de carga muerta correspondiente al peso de teja amplificada por el factor de la combinación correspondiente.
- *Dt total* (KN/m): Componente tangencial de carga muerta total amplificada por el factor de la combinación correspondiente.
- *Lrt* (KN/m): Componente tangencial de carga viva amplificada por el factor de la combinación correspondiente.

- W (KN/m): Fuerza de viento amplificada por el factor de la combinación correspondiente.
- *Sumatoria n* (KN/m): Valor de la sumatoria de las cargas y fuerzas normales amplificadas por el factor de la combinación correspondiente.
- *Sumatoria t* (KN/m): Valor de la sumatoria de las cargas y fuerzas tangenciales amplificadas por el factor de la combinación correspondiente.

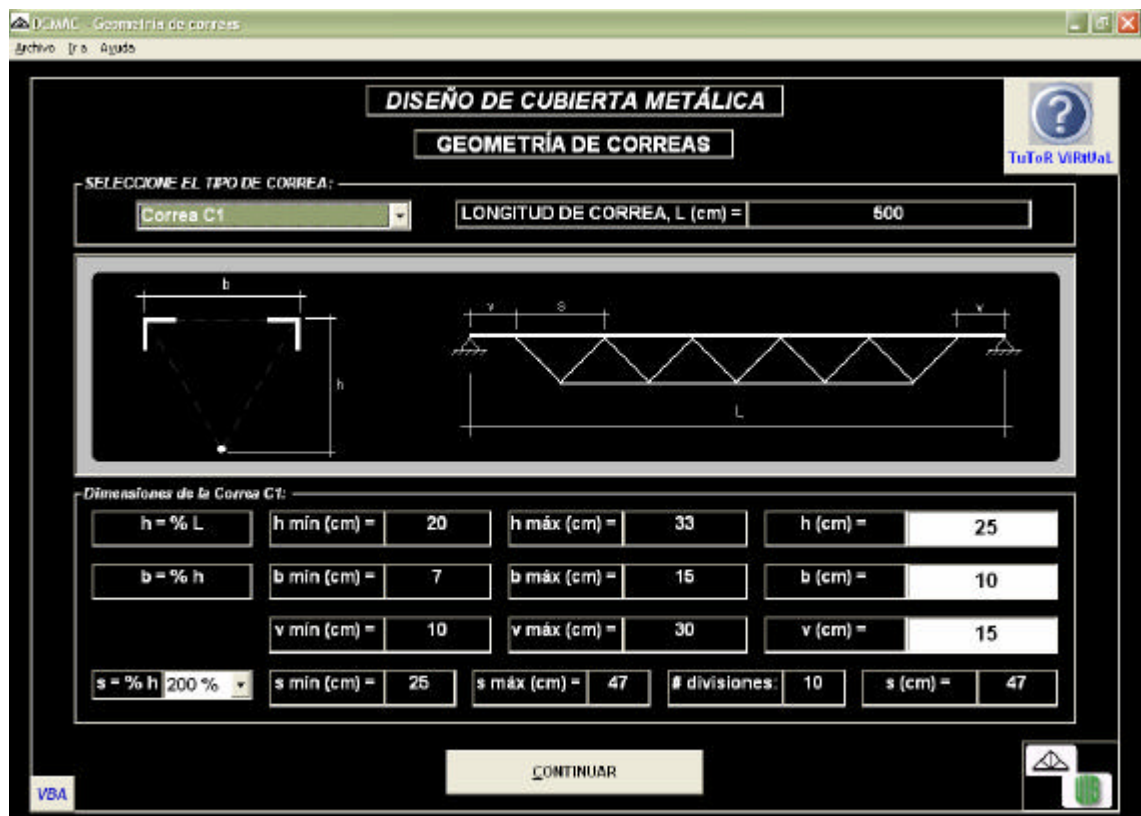
Teniendo en cuenta la combinación de carga con la mayor fuerza normal y la combinación de carga con la mayor fuerza tangencial para el tipo de correa seleccionado, DCMAC muestra en este módulo los siguientes datos:

- Combo de la mayor fuerza normal: Muestra la combinación de carga que contiene la mayor fuerza normal para el tipo de correa seleccionado.
- Mayor fuerza normal (KN/m): Es el mayor de los valores de *Sumatoria n* para el tipo de correa seleccionado.
- Fuerza tangencial correspondiente (KN/m): Muestra el valor de la fuerza tangencial de la combinación de carga que contiene la mayor fuerza normal para el tipo de correa seleccionado.
- Combo de la mayor fuerza tangencial: Muestra la combinación de carga que contiene la mayor fuerza tangencial para el tipo de correa seleccionado.
- Mayor fuerza tangencial (KN/m): Es el mayor de los valores de *Sumatoria t* para el tipo de correa seleccionado.

- Fuerza normal correspondiente (KN/m): Muestra el valor de la fuerza normal de la combinación de carga que contiene la mayor fuerza tangencial para el tipo de correa seleccionado.

4.5.10 Módulo Geometría de correas

Figura 32. Módulo Geometría de correas



El módulo Geometría de correas es el noveno módulo principal. Este módulo permite seleccionar los tipos de correas presentes en el diseño de la cubierta para establecer la geometría de cada uno de ellos. Los valores que el usuario puede ingresar y seleccionar son los siguientes:

- h (cm): Es la altura total de la correa comprendida desde el borde externo de la barra al borde externo del ala de los dos perfiles. Este valor es función de la longitud total de las correas. El usuario puede ingresar un valor siempre y cuando éste se encuentre dentro del rango de valores mínimos y máximos.

$$h \text{ mín} = \frac{1}{25}(Ltc * 100)$$

$$h \text{ máx} = \frac{1}{15}(Ltc * 100)$$

Donde:

Ltc : Longitud total de la correa (m).

- b (cm): Es el ancho total de la sección transversal de la correa comprendido entre los bordes externos de alas de los perfiles. Este valor es función de “ h ”. El usuario puede ingresar un valor siempre y cuando éste se encuentre dentro del rango de valores mínimos y máximos.

$$b \text{ mín} = 30\% h$$

$$b \text{ máx} = 60\% h$$

- v (cm): Es la distancia horizontal comprendida desde el apoyo de la correa hasta el punto de inicio de la primer celosía diagonal. El usuario puede ingresar un valor siempre y cuando éste se encuentre dentro del rango de valores mínimos y máximos.

$$v \text{ mín} = 10$$

$$v \text{ máx} = 30$$

- s (cm): Es la distancia que corresponde a los espaciamientos longitudinales de la celosía en la correa. Este valor es función de “ h ”.

El usuario puede seleccionar un porcentaje de “h” (mínimo 100%, máximo 200 %) con el que se calcula el # de divisiones de “s” sobre la correa.

$$\#divisiones = \frac{((Ltc * 100) - 2v)}{\%h}$$

DCMAC toma el número aproximado al entero mayor que resulta de la relación anterior y calcula “s” de la siguiente manera:

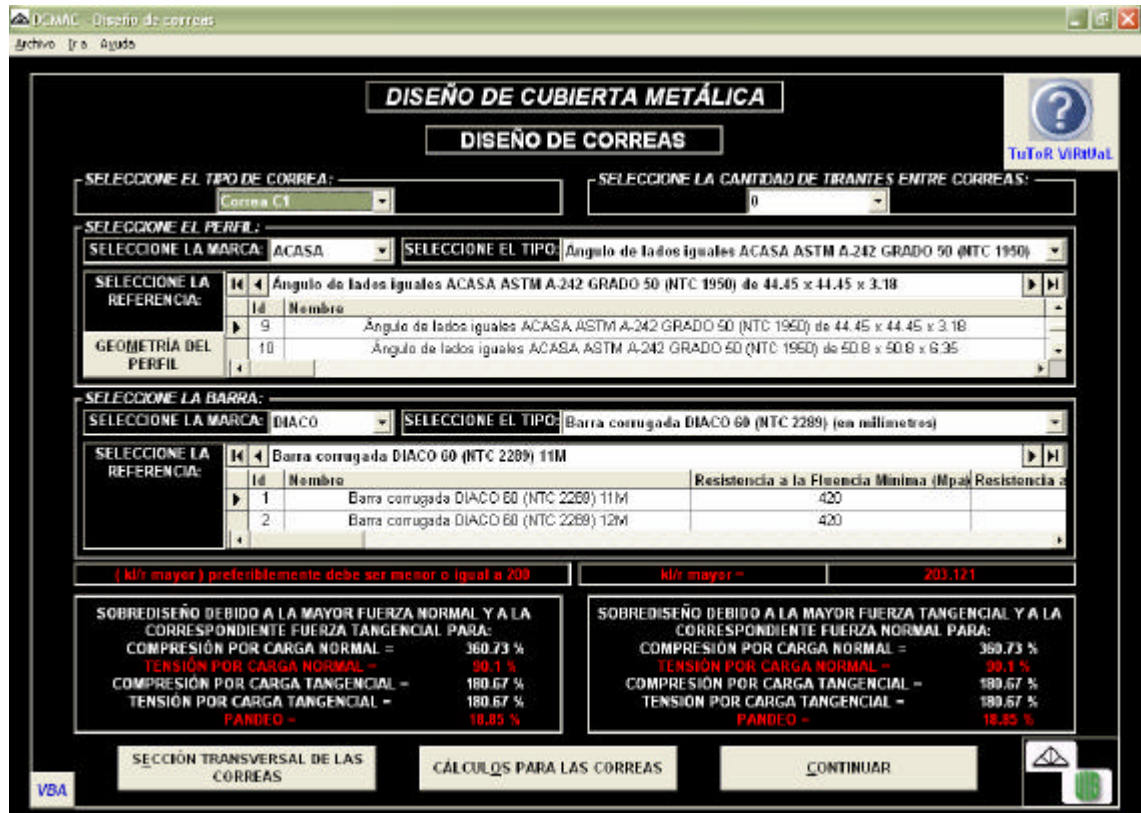
$$s = \frac{((Ltc * 100) - 2v)}{\#divisiones}$$

DCMAC muestra en el módulo las distancias “s” mínima y “s” máxima que corresponden a los cálculos hechos con un porcentaje de “h” de 100% y 200% respectivamente.

El módulo muestra una imagen de la sección transversal y longitudinal de la correa con la cual el usuario puede identificar gráficamente los valores que debe ingresar. El módulo también muestra la longitud de la correa en centímetros.

4.5.11 Módulo Diseño de correas

Figura 33. Módulo Diseño de correas



El módulo Diseño de correas es el décimo módulo principal. Este módulo permite seleccionar los tipos de correas presentes en el diseño de la cubierta para establecer, para cada uno de ellos, la referencia del perfil y de la barra. DCMAC permite diseñar con perfiles y barras comerciales. Para escoger las referencias del perfil y de la barra respectivamente, el usuario debe primero seleccionar la marca, luego el tipo y finalmente la referencia; para ello puede diferenciar cada una ellas de acuerdo a sus especificaciones.

Las especificaciones que se muestran para cada referencia de perfil son las siguientes:

- Nombre.
- Punto de fluencia mínimo (MPa).
- Longitud de ala (mm).
- Espesor (t) (mm).
- Peso (Kg/m).
- Área (cm²).
- I (Ejes XX-YY) (cm⁴).
- S (Ejes XX-YY) (cm³).
- r (Ejes XX-YY) (cm).
- x = y (Ejes XX-YY) (cm).
- r (Eje ZZ) (cm).

Estos datos son tomados de las especificaciones técnicas suministradas por los proveedores.

Las especificaciones que se muestran para cada referencia de barra son las siguientes:

- Nombre.
- Resistencia a la fluencia mínima (Mpa).
- Resistencia a la tracción mínima (Mpa).
- Diámetro (mm).
- Área (cm²).
- Peso (Kg/m).

Estos datos son tomados de las especificaciones técnicas suministradas por el proveedor.

El usuario puede acomodar el tamaño de las columnas donde se muestran las referencias de los perfiles y de las barras con el fin de leerlas de una manera adecuada.

El módulo permite visualizar la Geometría del perfil y la sección transversal de las correas haciendo clic en uno de los botones que lleva su nombre. El usuario puede seleccionar si su diseño es con un tirante entre correas o sin tirantes entre las mismas.

DCMAC muestra dos cuadros en el módulo que permiten al usuario identificar si la sección es apta a compresión por carga normal, a tensión por carga normal, a compresión por carga tangencial, a tensión por carga tangencial y apta para pandeo. Los valores de las conclusiones se expresan en porcentaje de sobrediseño debido a las combinaciones de cargas con las mayores cargas normal y tangencial, en donde un 100% es un porcentaje ideal para cada uno de lo criterios mostrados. A continuación se muestran y se explican cada una de las conclusiones.

Sobrediseño debido a la mayor fuerza normal y a la correspondiente fuerza tangencial.

- Compresión por carga normal (%)

$$\% = \frac{\mathbf{f}_f \cdot f_y_P}{f_{cn_{NC}}} * 100$$

Donde:

$f_{cn_{NC}}$: Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

$\mathbf{f}_f \cdot f_y_P$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo normal en el perfil (Mpa).

- Tensión por carga normal (%)

$$\% = \frac{f_f f_{y_b}}{f_{tn_{NC}}} * 100$$

Donde:

$f_{tn_{NC}}$: Esfuerzo a tensión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

$f_f f_{y_b}$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo normal en la barra (Mpa).

- Compresión por carga tangencial (%)

$$\% = \frac{f_v f_{y_P}}{f_{ct_{NC}}} * 100$$

Donde:

$f_{ct_{NC}}$: Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

$f_v f_{y_P}$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo de corte en el perfil (Mpa).

- Tensión por carga tangencial (%)

$$\% = \frac{f_v f_{y_P}}{f_{tt_{NC}}} * 100$$

Donde:

$f_{tt_{NC}}$: Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

$f_V f_{y_P}$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo de corte en el perfil (Mpa).

- Pandeo (%)

$$\% = \frac{fF_{cr_C}}{f_{cu_{NC}}} * 100$$

Donde:

fF_{cr_C} : Resistencia al pandeo para la correa (Mpa).

$f_{cu_{NC}}$: Esfuerzo a compresión último de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

Sobrediseño debido a la mayor fuerza tangencial y a la correspondiente fuerza normal.

- Compresión por carga normal (%)

$$\% = \frac{f_f f_{y_P}}{f_{cn_{TC}}} \cdot 100$$

Donde:

$f_{cn_{TC}}$: Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

$f_f f_{y_P}$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo normal en el perfil (Mpa).

- Tensión por carga normal (%)

$$\% = \frac{\mathbf{f}_f \cdot f_{y_b}}{f_{tn_{TC}}} \cdot 100$$

Donde:

$f_{tn_{TC}}$: Esfuerzo a tensión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

$\mathbf{f}_f \cdot f_{y_b}$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo normal en la barra (Mpa).

- Compresión por carga tangencial (%)

$$\% = \frac{\mathbf{f}_V \cdot f_{y_P}}{f_{ct_{TC}}} \cdot 100$$

Donde:

$f_{ct_{TC}}$: Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

$\mathbf{f}_V \cdot f_{y_P}$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo de corte en el perfil (Mpa).

- Tensión por carga tangencial (%)

$$\% = \frac{\mathbf{f}_V \cdot f_{y_P}}{f_{tt_{TC}}} \cdot 100$$

Donde:

$f_{tt_{TC}}$: Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

$f_{V} f_{y_P}$: Resistencia a la fluencia por esfuerzo de corte en el perfil (Mpa).

- Pandeo (%)

$$\% = \frac{fF_{cr_C}}{f_{cu_{TC}}} \cdot 100$$

Donde:

fF_{cr_C} : Resistencia al pandeo para la correa (Mpa).

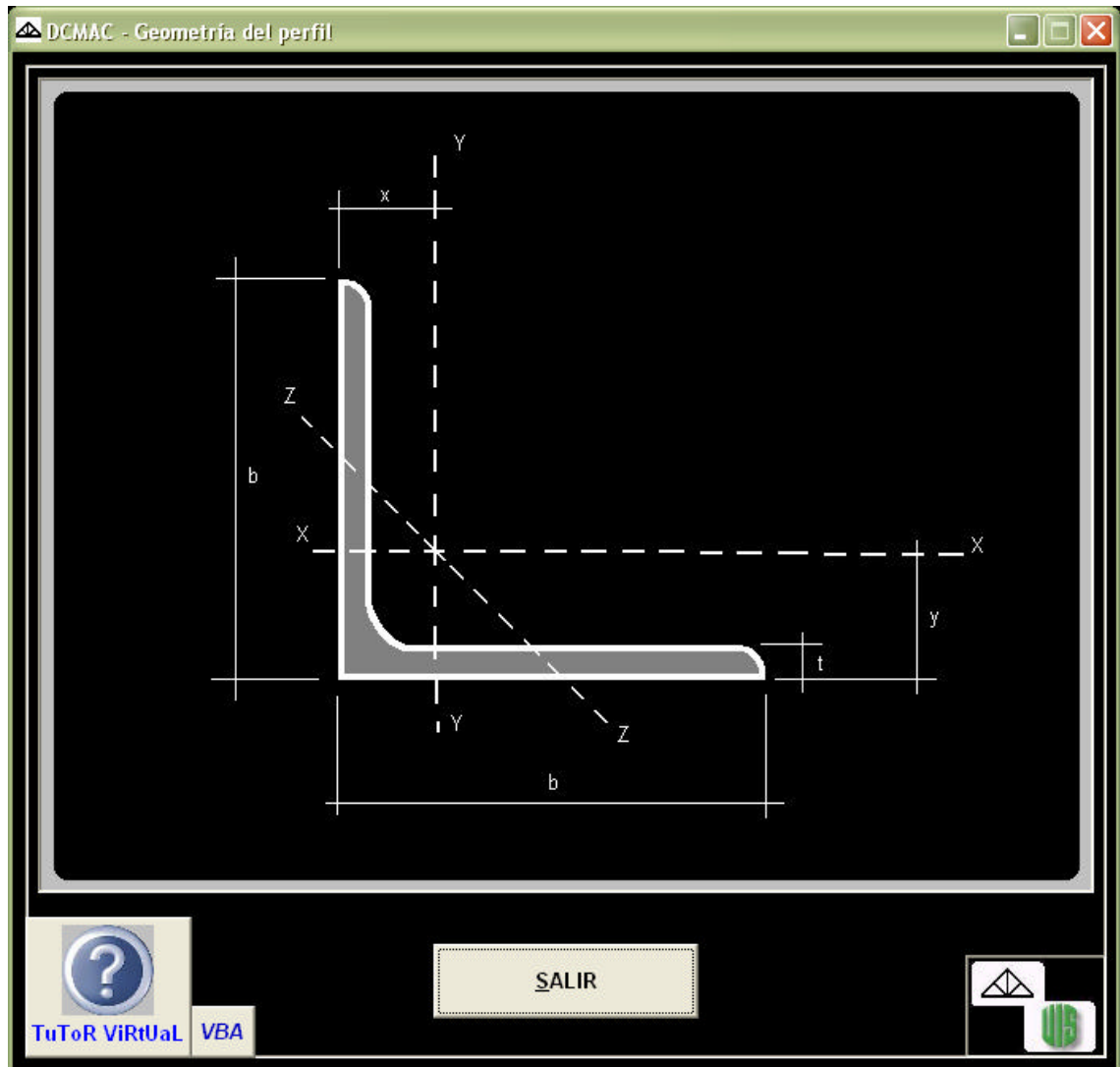
$f_{cu_{TC}}$: Esfuerzo a compresión último de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

DCMAC muestra en color rojo los valores de las conclusiones que no alcanzan un porcentaje de 100% con el fin de que el usuario los identifique visualmente con facilidad y pueda seguir diseñando con comodidad.

El botón Cálculos como su nombre lo indica, muestra los cálculos hechos por DCMAC que justifican el diseño de las correas.

4.5.11.1 Módulo Geometría del perfil

Figura 34. Módulo Geometría del perfil



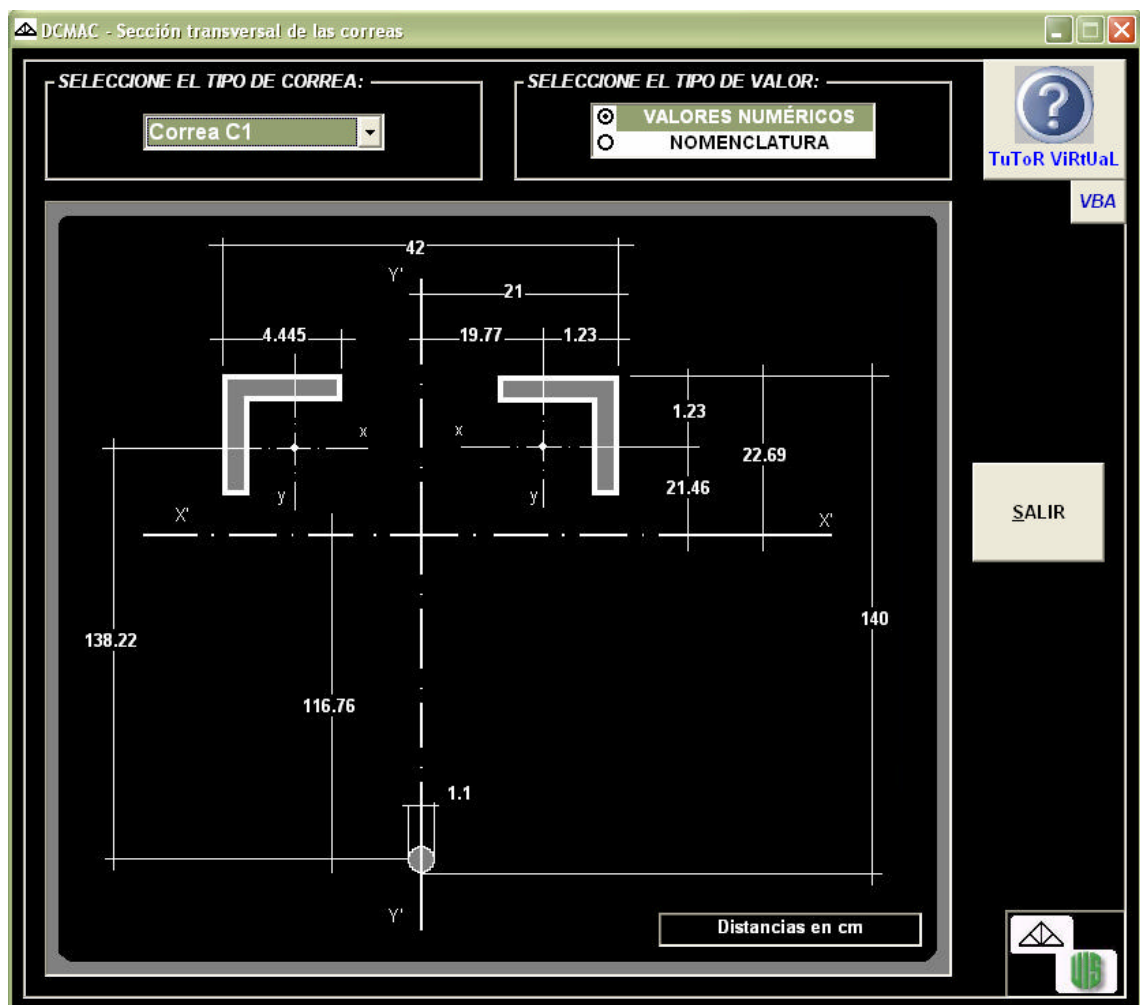
El módulo Geometría del perfil es un módulo secundario que permite al usuario visualizar la nomenclatura de la geometría de la sección transversal del perfil. La sección del perfil muestra los siguientes parámetros:

- Longitud de ala del perfil.
- t , Espesor del perfil.

- x , Distancia del borde de ala al eje centroidal “ y ” del perfil.
- y , Distancia del borde de ala al eje centroidal “ x ” del perfil.

4.5.11.2 Módulo Sección transversal de las correas

Figura 35. Módulo Sección transversal de las correas



El módulo Sección transversal de las correas es un módulo secundario. En él se permiten seleccionar los diferentes tipos de correas presentes en el diseño para visualizar la geometría de la sección transversal de cada uno de ellos.

DCMAC permite al usuario elegir si desea visualizar los valores numéricos o la nomenclatura de los mismos con el fin de facilitar la lectura de los valores mostrados. Los valores que se muestran son los siguientes:

Nota: Las unidades de los valores que se muestran en el módulo Sección transversal de las correas son en centímetros; sin embargo, las variables y los cálculos dados a continuación pueden no coincidir con las unidades mostradas en el módulo.

- b : Es el ancho total de la sección transversal de la correa comprendido entre bordes externos de alas de los perfiles (cm).
- L_p : Longitud de ala del perfil seleccionado en el módulo Diseño de correas (mm).
- x : Distancia del borde de ala al eje centroidal “y” del perfil seleccionado en el módulo Diseño de correas (cm).
- y : Distancia del borde de ala al eje centroidal “x” del perfil seleccionado en el módulo Diseño de correas (cm).
- db : Diámetro de la barra seleccionada en el módulo Diseño de correas (mm).
- h : Es la altura total de la correa comprendida desde el borde externo de la barra al borde externo del ala de los dos perfiles (cm).
- Y_p : Distancia desde el eje centroidal “x” del perfil al eje central de la barra de la correa (cm).

$$Y_p = h - \left(\frac{(db/10)}{2} \right) - y$$

- Y_c : Distancia desde el eje central de la barra al eje centroidal "X" de la sección de la correa (cm).

$$Y_c = \frac{2 \cdot A_p \cdot Y_p}{(2 \cdot A_p) + A_b}$$

Donde:

A_p : Área de la sección del perfil (cm²).

A_b : Área de la barra (cm²).

- $C_{x'}$: Distancia desde el borde externo del ala de los perfiles al eje centroidal "X" de la sección de la correa (mm).

$$C_{x'} = (h * 10) - \left(\frac{db}{2} \right) - (Y_c * 10)$$

- Y_o : Distancia del eje centroidal "x" del perfil al eje centroidal "X" de la correa (cm).

$$Y_o = \left(\frac{C_{x'}}{10} \right) - y$$

- $C_{y'}$: Distancia desde el borde externo del ala de los perfiles al eje centroidal "Y" de la sección de la correa (mm).

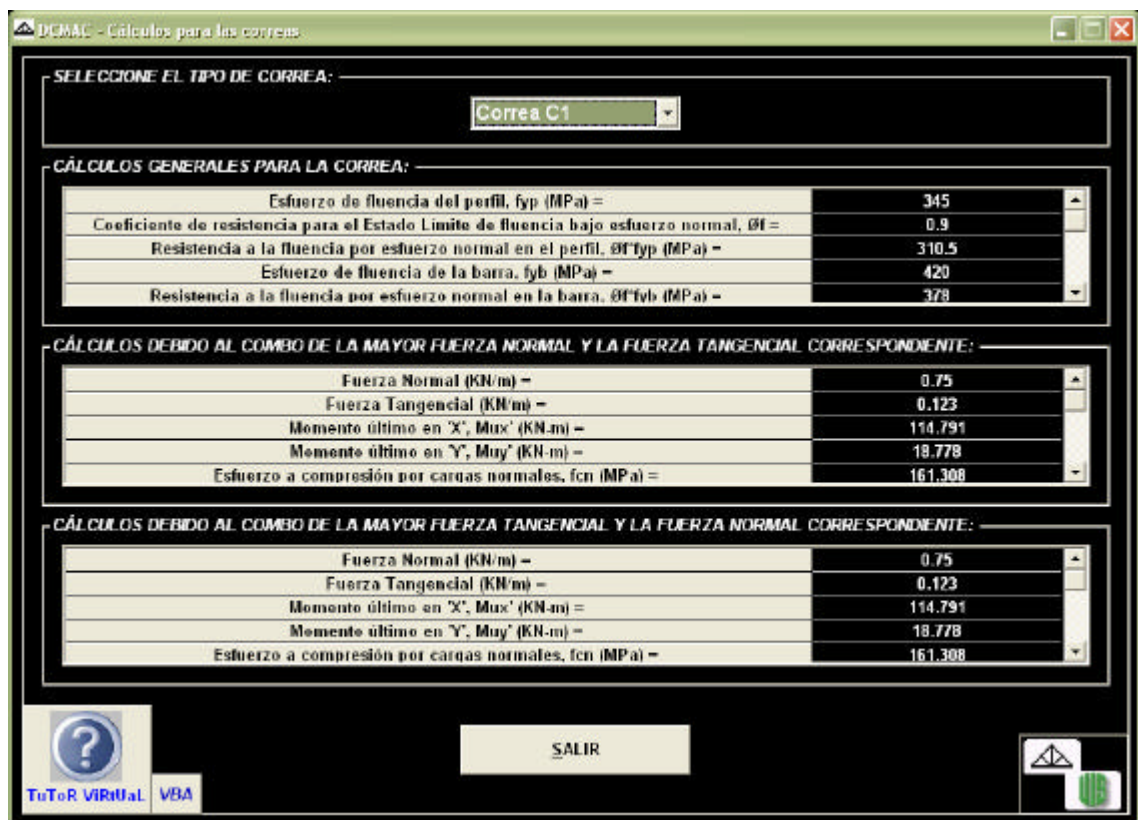
$$C_{y'} = \frac{(b * 10)}{2}$$

- X_o : Distancia del eje centroidal "y" del perfil al eje centroidal "Y" de la correa (cm).

$$X_o = \left(\frac{C_{y'}}{10} \right) - x$$

4.5.11.3 Módulo Cálculos para las correas

Figura 36. Módulo Cálculos para las correas



El módulo Cálculos para las correas es un módulo secundario. En él se permiten seleccionar los diferentes tipos de correas presentes en el diseño para mostrar al usuario los resultados de los cálculos que DCMAC realiza en el diseño de cada uno de ellos.

A continuación se explican los cálculos de los valores mostrados en el módulo.

Cálculos Generales para la correa.

- Esfuerzo de fluencia del perfil, f_y_p (Mpa): Esfuerzo de fluencia del perfil seleccionado en el módulo Diseño de correas.
- Coeficiente de resistencia para el estado límite de fluencia bajo esfuerzo normal, f_f

$$f_f = 0.9$$

- Resistencia a la fluencia por esfuerzo normal en el perfil, $f_f f_y_p$ (Mpa):

$$f_f f_y_p = f_f f_y_p$$

- Esfuerzo de fluencia de la barra, f_y_b (Mpa): Esfuerzo de fluencia de la barra seleccionada en el módulo Diseño de correas.
- Resistencia a la fluencia por esfuerzo normal en la barra, $f_f f_y_b$ (Mpa):

$$f_f f_y_b = f_f f_y_b$$

- Coeficiente de resistencia para el estado límite de fluencia bajo esfuerzo de corte, f_v

$$f_v = 0.9$$

- Resistencia a la fluencia por esfuerzo de corte en el perfil, $f_v f_y$ (Mpa):

$$f_v f_y = 0.6 \cdot f_v \cdot f_y$$

- Distancia Cx' (mm): Distancia desde el borde externo del ala de los perfiles al eje centroidal "X" de la sección de la correa.

$$Cx' = (h * 10) - \left(\frac{db}{2} \right) - (Yc * 10)$$

- Distancia Cy' (mm): Distancia desde el borde externo del ala de los perfiles al eje centroidal "Y" de la sección de la correa.

$$Cy' = \frac{(b * 10)}{2}$$

- Momento de inercia en "X", I_x (mm⁴): Momento de Inercia de la correa respecto al eje centroidal "X" de su sección transversal.

$$I_{x'_c} = 2 \left[(I_{xp} * 10^4) + (A_p * 10^2) \cdot (Y_o * 10)^2 \right] + \left[I_b + (A_b * 10^2) \cdot (Y_c * 10)^2 \right]$$

Donde:

$I_{x'_c}$: Momento de Inercia de la correa respecto al eje centroidal "X" de su sección transversal (mm^4).

I_{xp} : Inercia del perfil respecto al eje centroidal "x" de su sección transversal (cm^4).

I_b : Inercia de la barra de la correa (mm^4).

A_p : Área de la sección del perfil (cm^2).

A_b : Área de la barra (cm^2).

Y_c : Distancia desde el eje central de la barra al eje centroidal "X" de la sección de la correa (cm).

Y_o : Distancia del eje centroidal "x" del perfil al eje centroidal "X" de la correa (cm).

- Momento de inercia en "Y", I_y (mm^4): Momento de Inercia de la correa respecto al eje centroidal "Y" de su sección transversal.

$$I_{y'_c} = 2 \left[(I_{yp} * 10^4) + (A_p * 10^2) \cdot (X_o * 10)^2 \right] + I_b$$

Donde:

$I_{y'_c}$: Momento de Inercia de la correa respecto al eje centroidal "Y" de su sección transversal (mm^4).

I_{yp} : Inercia del perfil respecto al eje centroidal "y" de su sección transversal (cm^4).

I_b : Inercia de la barra de la correa (mm^4).

A_p : Área de la sección del perfil (cm^2).

X_o : Distancia del eje centroidal "y" del perfil al eje centroidal "Y" de la correa (cm).

- r_x para el conjunto (mm): Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la correa.

$$r_{x_{CC}} = \sqrt{\frac{I'_{x_c}}{[2(Ap * 100) + (Ab * 100)]}}$$

- r_y para el conjunto (mm): Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la correa.

$$r_{y_{CC}} = \sqrt{\frac{I'_{y_c}}{[2(Ap * 100) + (Ab * 100)]}}$$

- r_x para el perfil (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil de la correa seleccionado en el módulo Diseño de correas.
- r_y para el perfil (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil de la correa seleccionado en el módulo Diseño de correas.
- r_z para el perfil (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil de la correa seleccionado en el módulo Diseño de correas.
- Relación de esbeltez kl/r (x) para el conjunto: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la correa.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(x)_{CC}} = \left(\frac{k (Ltc * 10^3)}{r_{x_{CC}}}\right)$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(x)CC}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal "X" de la correa.

$$k = 1$$

k : Factor de longitud efectiva.

Ltc : Longitud total de la correa (m).

- Relación de esbeltez kl/r (y) para el conjunto: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la correa.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(y)CC} = \left(\frac{k \left(\frac{(Ltc * 10^3)}{(t_c + 1)} \right)}{ry_{CC}} \right)$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(y)CC}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la correa.

$$k = 1$$

t_c : Número de tirantes entre correas.

- Relación de esbeltez kl/r (x) para el perfil: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal "x" del perfil de la correa.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)PC} = \left(\frac{k (s*10)}{rx_P}\right)$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)PC}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil de la correa.

$$k = 1$$

s : Espaciamientos longitudinales de la celosía en la correa (cm).

rx_P : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil (mm).

- Relación de esbeltez kl/r (y) para el perfil: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil de la correa.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)PC} = \left(\frac{k (s*10)}{ry_P}\right)$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)PC}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil de la correa.

$$k = 1$$

ry_P : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil (mm).

- Relación de esbeltez kl/r (z) para el perfil: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil de la correa.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Z)PC} = \left(\frac{k (s*10)}{rz_p}\right)$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Z)PC}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal "z" del perfil de la correa.

$$k = 1$$

rz_p : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "z" del perfil (mm).

- La mayor relación de esbeltez kl/r : La mayor relación de esbeltez para la correa.
- Parámetro de esbeltez: Parámetro de esbeltez para la correa.

$$I_{C_C} = \frac{\left(\frac{kl}{r}\right)_C}{p} \sqrt{\frac{fy_P}{E}}$$

Donde:

I_{C_C} : Parámetro de esbeltez para la correa.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_C$: La mayor relación de esbeltez para la correa.

- Esfuerzo crítico para el pandeo, F_{cr} (Mpa): Esfuerzo crítico de pandeo para la correa.

Teniendo en cuenta el valor del parámetro de esbeltez para correa, el cálculo del esfuerzo crítico se calcula teniendo en cuenta el valor del parámetro de esbeltez de la siguiente manera:

1. Si $I_{c_c} \leq 1.5$:

$$F_{cr_C} = \left(0.568 I_c^2\right) f_{y_P}$$

2. Si $I_{c_c} > 1.5$:

$$F_{cr_C} = \left(\frac{0.877}{I_c^2}\right) f_{y_P}$$

Donde:

F_{cr_C} : Esfuerzo crítico de pandeo para la correa (Mpa).

I_{c_c} : Parámetro de esbeltez para la correa.

- Resistencia al pandeo, fF_{cr_C} (Mpa): Resistencia al pandeo para la correa.

$$fF_{cr_C} = f F_{cr_C}$$

Donde:

F_{cr_C} : Esfuerzo crítico de pandeo para la correa (Mpa).

$$f = 0.85$$

- Peso lineal inicial (supuesto) de la correa (KN/M): Carga muerta estimada correspondiente al peso lineal de la correa.

- Peso lineal real (aprox.) de la correa (KN/M): Carga muerta correspondiente al peso lineal de la correa.

Para calcular el peso lineal real de la correa, DCMAC realiza la suma del peso de los perfiles, el peso de la barra, el peso de la celosía horizontal, el peso de la celosía diagonal de la correa y luego lo divide entre la longitud de la misma. Este valor DCMAC lo tiene en cuenta para el cálculo de las cargas externas sobre las armaduras como carga muerta correspondiente al peso lineal de la correa.

Cálculos debido al combo de la mayor fuerza normal y la fuerza tangencial correspondiente.

- Fuerza normal (KN/m): Fuerza normal de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa.
- Fuerza tangencial (KN/m): Fuerza tangencial de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa.
- Momento último en "X", Mux' (KN-m): Momento último respecto al eje "X" de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal.

$$Mux'_{NC} = \frac{Fn_{NC} Ltc^2}{8}$$

Donde:

Mux'_{NC} : Momento último respecto al eje "X" de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal (KN-m).

Ft_{NC} : Fuerza normal de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (KN/m).

- Momento último en “Y”, Muy' (KN-m): Momento último respecto al eje “Y” de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal.

$$Muy'_{NC} = \frac{Ft_{NC} \left(\frac{Ltc}{(t_C + 1)} \right)^2}{8}$$

Donde:

Muy'_{NC} : Momento último respecto al eje “Y” de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal (KN-m).

Ft_{NC} : Fuerza tangencial de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (KN/m).

- Esfuerzo a compresión por cargas normales, fcn (Mpa): Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa.

$$fcn_{NC} = \frac{(Mux'_{NC} * 10^6) Cx'}{Ix'_C}$$

Donde:

fcn_{NC} : Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

- Esfuerzo a tensión por cargas normales, ftn (Mpa): Esfuerzo a tensión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa.

$$ftn_{NC} = \frac{(Mux'_{NC} * 10^6) (Yc * 10)}{Ix'_C}$$

Donde:

ftn_{NC} : Esfuerzo a tensión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

- Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales, fct (Mpa): Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa.

$$fct_{NC} = \frac{(Muy'_{NC} * 10^6) Cy'}{Iy'_C}$$

Donde:

fct_{NC} : Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

- Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales, ftt (Mpa): Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa.

$$ftt_{NC} = \frac{(Muy'_{NC} * 10^6) Cy'}{Iy'_C}$$

Donde:

$f_{tt_{NC}}$: Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

- Esfuerzo a compresión último, f_{cu} (Mpa): Esfuerzo a compresión último de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa.

$$f_{cu_{NC}} = f_{cn_{NC}} + f_{ct_{NC}}$$

Donde:

$f_{cu_{NC}}$: Esfuerzo a compresión último de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

$f_{cn_{NC}}$: Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

$f_{ct_{NC}}$: Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza normal en la correa (Mpa).

Cálculos debido al combo de la mayor fuerza tangencial y la fuerza normal correspondiente.

- Fuerza normal (KN/m): Fuerza normal de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa.
- Fuerza tangencial (KN/m): Fuerza tangencial de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa.

- Momento último en “X”, Mux' (KN-m): Momento último respecto al eje “Y” de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial.

$$Mux'_{TC} = \frac{Fn_{TC} Ltc^2}{8}$$

Donde:

Mux'_{TC} : Momento último respecto al eje “X” de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial (KN-m).

Fn_{TC} : Fuerza normal de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (KN/m).

- Momento último en “Y”, Muy' (KN-m): Momento último respecto al eje “Y” de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial.

$$Muy'_{TC} = \frac{Ft_{TC} \left(\frac{Ltc}{(t_C + 1)} \right)^2}{8}$$

Donde:

Muy'_{TC} : Momento último respecto al eje “Y” de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial (KN-m).

Ft_{TC} : Fuerza tangencial de diseño debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (KN/m).

- Esfuerzo a compresión por cargas normales, f_{cn} (Mpa): Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa.

$$f_{cn_{TC}} = \frac{(M_{ux'_{TC}} * 10^6) Cx'}{Ix'_c}$$

Donde:

$f_{cn_{TC}}$: Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

- Esfuerzo a tensión por cargas normales, f_{tn} (Mpa): Esfuerzo a tensión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa.

$$f_{tn_{TC}} = \frac{(M_{ux'_{TC}} * 10^6) (10 \cdot Y_c)}{Ix'_c}$$

Donde:

$f_{tn_{TC}}$: Esfuerzo a tensión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

- Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales, f_{ct} (Mpa): Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa.

$$f_{ct_{TC}} = \frac{(M_{uy'_{TC}} * 10^6) Cy'}{Iy'_c}$$

Donde:

fct_{TC} : Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

- Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales, ftt (Mpa): Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa.

$$ftt_{TC} = \frac{(Muy'_{TC} * 10^6) Cy'}{Iy'_C}$$

Donde:

ftt_{TC} : Esfuerzo a tensión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

- Esfuerzo a compresión último, fcu (Mpa): Esfuerzo a compresión último de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa.

$$fcu_{TC} = fcn_{TC} + fct_{TC}$$

Donde:

fcu_{TC} : Esfuerzo a compresión último de la correa debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

fcn_{TC} : Esfuerzo a compresión por cargas normales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

$f_{ct_{TC}}$: Esfuerzo a compresión por cargas tangenciales debido a la combinación de carga de la mayor fuerza tangencial en la correa (Mpa).

4.5.12 Módulo Análisis de fuerzas en armaduras

Figura 37. Módulo Análisis de fuerzas en armaduras (1)

DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA		
ANÁLISIS DE FUERZAS EN ARMADURAS		
PENDIENTE DE LA CUBIERTA:	15 %	8.53 °
CARGA VIVA (KN/m ²) =	0.5	
ARMADURA DE EXTREMO		
PESO LINEAL DE LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA DE EXTREMO (KN/m) =	0.1	
ESTÁTICA DE ARMADURA DE EXTREMO		
CONTINUAR		

Figura 38. Módulo Análisis de fuerzas en armaduras (2)

PENDIENTE DE LA CUBIERTA:	15 %	8.53 °
CARGA VIVA (KN/m ²) =	0.5	

ARMADURA DE EXTREMO

PESO LINEAL DE LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA DE EXTREMO (KN/m) =	0.1
---	-----

ESTÁTICA DE ARMADURA DE EXTREMO

ARMADURA INTERMEDIA

PESO LINEAL DE LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA INTERMEDIA (KN/m) =	0.2
---	-----

ESTÁTICA DE ARMADURA INTERMEDIA

CONTINUAR

El módulo Análisis de fuerzas en armaduras es el décimo primer módulo principal. Este módulo presenta las siguientes opciones:

- Pendiente de la cubierta: Valor ingresado por el usuario en el módulo Pendiente de la cubierta.
- Carga viva (KN/m²): Es el valor de carga viva por unidad de área para cubiertas inclinadas de estructuras metálicas según la Norma NSR-98.
- Peso lineal de los elementos de la armadura de extremo (KN/m): Es una estimación del peso lineal promedio de los elementos de la armadura de extremo para tener en cuenta la carga muerta por peso propio de los mismos elementos.

- **Peso lineal de los elementos de la armadura intermedia (KN/m):** Es una estimación del peso lineal promedio de los elementos de la armadura intermedia para tener en cuenta la carga muerta por peso propio de los mismos elementos. Esta casilla se muestra si el diseño cuenta con 3 o mas armaduras, de lo contrario, el módulo solo muestra las opciones para armaduras de extremo.

En la figura 37. se observa el entorno visual del módulo con las opciones para el diseño de armaduras de extremo y en la figura 38 el entorno del módulo con las opciones para el diseño de armaduras de extremo e intermedias.

Antes de continuar con el diseño el usuario puede revisar los análisis de estática para las armaduras de extremo e intermedias dado el caso, haciendo clic en los botones Estática de armadura de extremo y Estática de armadura intermedia, respectivamente.

4.5.12.1 Módulo Estática de armadura de extremo

El módulo Estática de armadura de extremo es un módulo secundario que permite al usuario seleccionar una de las once combinaciones de carga para visualizar, para cada una de ellas, las fuerzas y cargas en los nodos, las fuerzas internas de los elementos de la armadura de extremo y las reacciones de los apoyos en la armadura, entre otros valores.

Figura 39. Módulo Estática de armadura de extremo



La evaluación de cargas se realiza para las siguientes combinaciones:

- 1.4 D
- 1.2 D + 0.5 Lr
- 1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Wsp
- 1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Wps
- 1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Wp
- 1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Wsp
- 1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Wps
- 1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Wp
- 0.9 D – 1.3 Wsp
- 0.9 D – 1.3 Wps
- 0.9 D – 1.3 Wp

Para cada una de las combinaciones de carga el módulo muestra los valores de las cargas y fuerzas en los nodos y en los elementos.

- En los nodos: Para cada uno de los nodos de la armadura se muestran las siguientes cargas y fuerzas:
 - D (KN): Carga muerta total en cada uno de los nodos de la armadura.
 - D_a (KN): Carga muerta debido a la sumatoria de la mitad del peso de los elementos que llegan al nodo.
 - D_c (KN): Carga muerta debido al peso propio de las correas en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - D_t (KN): Carga muerta debido al peso de la teja en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - L_r (KN): Carga viva en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - W_x (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección "x" en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - W_y (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección "y" en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - D_{amp} (KN): Carga muerta total en los nodos de la armadura amplificada por el factor de la combinación de carga correspondiente.
 - L_{ramp} (KN): Carga viva en los nodos de la armadura amplificada por el factor de la combinación de carga correspondiente.
 - W_{xamp} (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección "x" en los nodos de la armadura amplificada por el factor de la combinación de carga correspondiente.
 - W_{yamp} (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección "y" en los nodos de la armadura amplificada por el factor de la combinación de carga correspondiente.

- F_{ex} (KN): Sumatoria de fuerzas externas que llegan al nodo en la dirección “x”. Es igual a la componente de la fuerza de viento en la misma dirección debido a que no existen más fuerzas en la dirección “x”. Este valor está amplificado por el factor de la combinación de carga correspondiente.
 - F_{ey} (KN): Sumatoria de fuerzas externas que llegan al nodo en la dirección “y”, tales como la componente de la fuerza de viento en la misma dirección, la carga viva y la carga muerta; donde la carga muerta es la suma de la carga muerta por el peso de la teja, la carga muerta por el peso propio de las correas y la carga muerta debido a la sumatoria de la mitad del peso de los elementos que llegan al nodo. Este valor está amplificado por el factor de la combinación de carga correspondiente.
- En los elementos: Para cada elemento de la armadura se muestra la siguiente información:
 - Fuerza interna (KN): Fuerza interna del elemento de la armadura en cuestión debido a la combinación de carga seleccionada por el usuario.
 - Estado: Solicitación del elemento. Se contemplan tres estados: compresión, tensión y fuerza cero.
- Reacción en x del apoyo de segundo orden (KN).
 - Reacción en y del apoyo de segundo orden (KN).
 - Reacción en y del apoyo de primer orden (KN).
 - Fuerza mayor en el cordón superior (KN).
 - Fuerza mayor en el cordón inferior (KN).

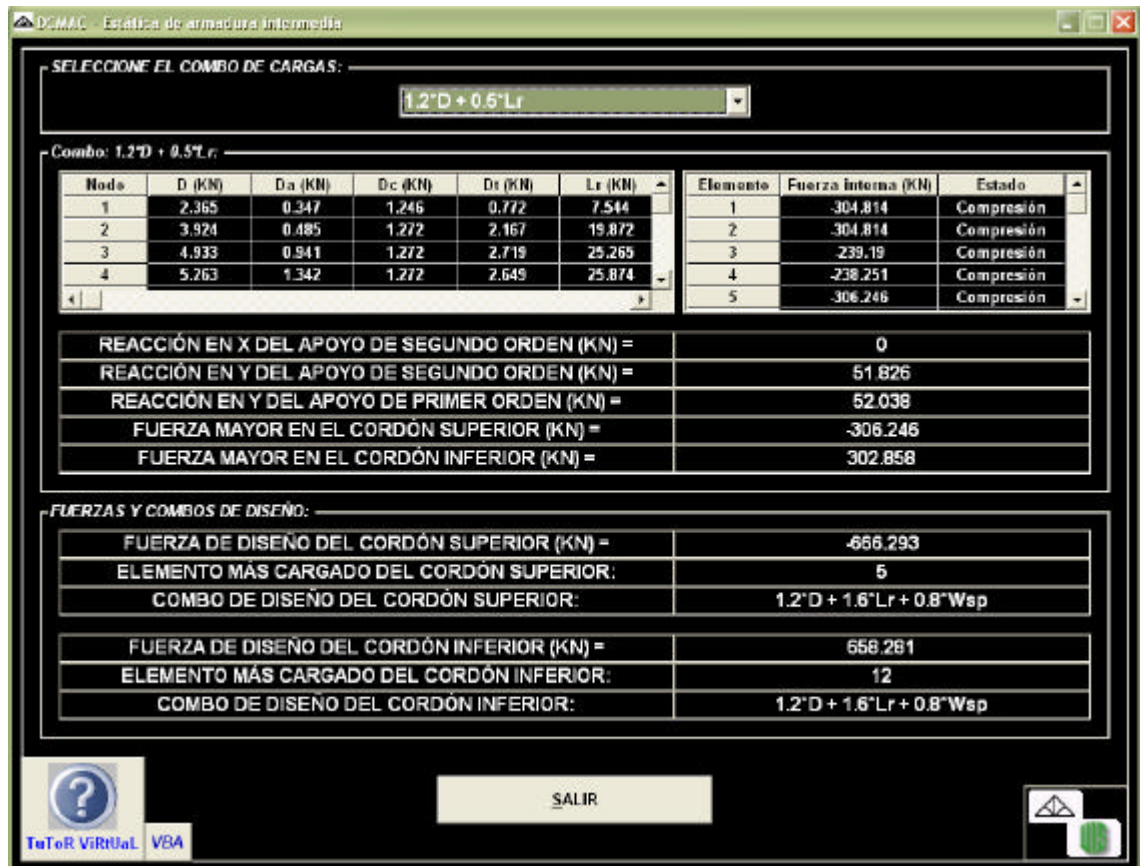
El usuario puede visualizar los siguientes valores debido a la combinación de carga que produce las mayores sollicitaciones en la armadura.

- Fuerza de diseño del cordón superior (KN/m): Es la mayor fuerza de los elementos del cordón superior una vez evaluada la estática en la armadura con las once combinaciones de carga.
- Elemento más cargado del cordón superior. Elemento del cordón superior que soporta la mayor fuerza una vez evaluada la estática en la armadura con las once combinaciones de carga.
- Combo de diseño del cordón superior. Es la combinación de carga que produce la mayor fuerza en los elementos del cordón superior.
- Fuerza de diseño del cordón inferior (KN/m): Es la mayor fuerza de los elementos del cordón inferior una vez evaluada la estática de la armadura con las once combinaciones de carga.
- Elemento más cargado del cordón inferior: Elemento del cordón inferior que soporta la mayor fuerza una vez evaluada la estática de la armadura con las once combinaciones de carga.
- Combo de diseño del cordón inferior: Es la combinación de carga que produce la mayor fuerza en los elementos del cordón inferior.

4.5.12.2 Módulo Estática de armadura intermedia

El módulo Estática de armadura intermedia es un módulo secundario que permite al usuario seleccionar una de las once combinaciones de carga para visualizar, para cada una de ellas, las fuerzas y cargas en los nodos, las fuerzas internas de los elementos de la armadura intermedia y las reacciones de los apoyos en la armadura, entre otros valores.

Figura 40. Módulo Estática de armadura intermedia



La evaluación de cargas se realiza para las siguientes combinaciones:

- 1.4 D
- 1.2 D + 0.5 Lr
- 1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Wsp
- 1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Wps
- 1.2 D + 1.6 Lr + 0.8 Wp
- 1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Wsp
- 1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Wps
- 1.2 D + 0.5 Lr + 1.3 Wp
- 0.9 D – 1.3 Wsp
- 0.9 D – 1.3 Wps
- 0.9 D – 1.3 Wp

Para cada una de las combinaciones de carga el módulo muestra los valores de las cargas y fuerzas en los nodos y en los elementos.

- En los nodos: Para cada uno de los nodos de la armadura se muestran las siguientes cargas y fuerzas:
 - D (KN): Carga muerta total en cada uno de los nodos de la armadura.
 - D_a (KN): Carga muerta debido a la sumatoria de la mitad del peso de los elementos que llegan al nodo.
 - D_c (KN): Carga muerta debido al peso propio de las correas en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - D_t (KN): Carga muerta debido al peso de la teja en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - L_r (KN): Carga viva en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - W_x (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección "x" en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - W_y (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección "y" en los nodos de la armadura cargados con correas.
 - D_{amp} (KN): Carga muerta total en los nodos de la armadura amplificada por el factor de la combinación de carga correspondiente.
 - L_{ramp} (KN): Carga viva en los nodos de la armadura amplificada por el factor de la combinación de carga correspondiente.
 - W_{xamp} (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección "x" en los nodos de la armadura amplificada por el factor de la combinación de carga correspondiente.
 - W_{yamp} (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección "y" en los nodos de la armadura amplificada por el factor de la combinación de carga correspondiente.

- F_{ex} (KN): Sumatoria de fuerzas externas que llegan al nodo en la dirección "x". Es igual a la componente de la fuerza de viento en la misma dirección debido a que no existen más fuerzas en la dirección "x". Este valor está amplificado por el factor de la combinación de carga correspondiente.
 - F_{ey} (KN): Sumatoria de fuerzas externas que llegan al nodo en la dirección "y", tales como la componente de la fuerza de viento en la misma dirección, la carga viva y la carga muerta; donde la carga muerta es la suma de la carga muerta por el peso de la teja, la carga muerta por el peso propio de las correas y la carga muerta debido a la sumatoria de la mitad del peso de los elementos que llegan al nodo. Este valor está amplificado por el factor de la combinación de carga correspondiente.
- En los elementos: Para cada elemento de la armadura se muestra la siguiente información:
 - Fuerza interna (KN): Fuerza interna del elemento de la armadura en cuestión debido a la combinación de carga seleccionada por el usuario.
 - Estado: Solicitación del elemento. Se contemplan tres estados: compresión, tensión y fuerza cero.
- Reacción en x del apoyo de segundo orden (KN).
 - Reacción en y del apoyo de segundo orden (KN).
 - Reacción en y del apoyo de primer orden (KN).
 - Fuerza mayor en el cordón superior (KN).
 - Fuerza mayor en el cordón inferior (KN).

El usuario puede visualizar los siguientes valores debido a la combinación de carga que produce las mayores solicitaciones en la armadura.

- Fuerza de diseño del cordón superior (KN/m): Es la mayor fuerza de los elementos del cordón superior una vez evaluada la estática en la armadura con las once combinaciones de carga.
- Elemento más cargado del cordón superior. Elemento del cordón superior que soporta la mayor fuerza una vez evaluada la estática en la armadura con las once combinaciones de carga.
- Combo de diseño del cordón superior. Es la combinación de carga que produce la mayor fuerza en los elementos del cordón superior.
- Fuerza de diseño del cordón inferior (KN/m): Es la mayor fuerza de los elementos del cordón inferior una vez evaluada la estática de la armadura con las once combinaciones de carga.
- Elemento más cargado del cordón inferior: Elemento del cordón inferior que soporta la mayor fuerza una vez evaluada la estática de la armadura con las once combinaciones de carga.
- Combo de diseño del cordón inferior: Es la combinación de carga que produce la mayor fuerza en los elementos del cordón inferior.

4.5.13 Módulo Diseño del cordón superior

Figura 41. Módulo de diseño del cordón superior (1)

DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA
DISEÑO DEL CORDÓN SUPERIOR

ARMADURA DE EXTREMO

b (mm) = 300 DIVISIONES DEL TRAMO DE DISEÑO: 5 a (mm) = 474.904 LONG. DEL TRAMO, L1 (mm) = 2849.422 VISTA DEL CORDÓN

MARCA DE PERFIL: ACASA TIPO DE PERFIL: Ángulo de lados iguales ACASA ASTM A-242 GRADO 50 (NTC 1950)

REFERENCIA DE PERFIL: Ángulo de lados iguales ACASA ASTM A-242 GRADO 50 (NTC 1950) de 63.5 x 63.5 x 4.76

Id	Nombre	Punto d
14	Ángulo de lados iguales ACASA ASTM A-242 GRADO 50 (NTC 1950) de 63.5 x 63.5 x 4.76	
15	Ángulo de lados iguales ACASA ASTM A-242 GRADO 50 (NTC 1950) de 63.5 x 63.5 x 3.18	

GEOMETRIA DEL PERFIL

SOBREDISEÑO POR (a/r) <= (b/4) * k/r mayor: 281.82 %

SOBREDISEÑO POR PANDEO FLECTOR: 47.42 %

SOBREDISEÑO POR PANDEO FLEJO-TORSOR: 127.18 %

CLASIFICACIÓN DE LA SECCIÓN: SECCIÓN ESBELTA

(k/r mayor) <= 200 ? k/r mayor = 143.91

ARMADURA INTERMEDIA

b (mm) = 300 DIVISIONES DEL TRAMO DE DISEÑO: 2 a (mm) = 949.807 LONG. DEL TRAMO, L1 (mm) = 2849.422 VISTA DEL CORDÓN

MARCA DE PERFIL: ACASA TIPO DE PERFIL: Ángulo de lados iguales ACASA ASTM A-242 GRADO 50 (NTC 1950)

REFERENCIA DE PERFIL: Ángulo de lados iguales ACASA ASTM A-242 GRADO 50 (NTC 1950) de 76.2 x 76.2 x 7.94

Id	Nombre	Punto d
18	Ángulo de lados iguales ACASA ASTM A-242 GRADO 50 (NTC 1950) de 76.2 x 76.2 x 7.94	
19	Ángulo de lados iguales ACASA ASTM A-242 GRADO 50 (NTC 1950) de 76.2 x 76.2 x 6.35	

GEOMETRIA DEL PERFIL

SOBREDISEÑO POR (a/r) <= (b/4) * k/r mayor: 143.27 %

SOBREDISEÑO POR PANDEO FLECTOR: 65.11 %

SOBREDISEÑO POR PANDEO FLEJO-TORSOR: 73.71 %

CLASIFICACIÓN DE LA SECCIÓN: SECCIÓN NO COMPACTA

(k/r mayor) <= 200 ? k/r mayor = 121.77

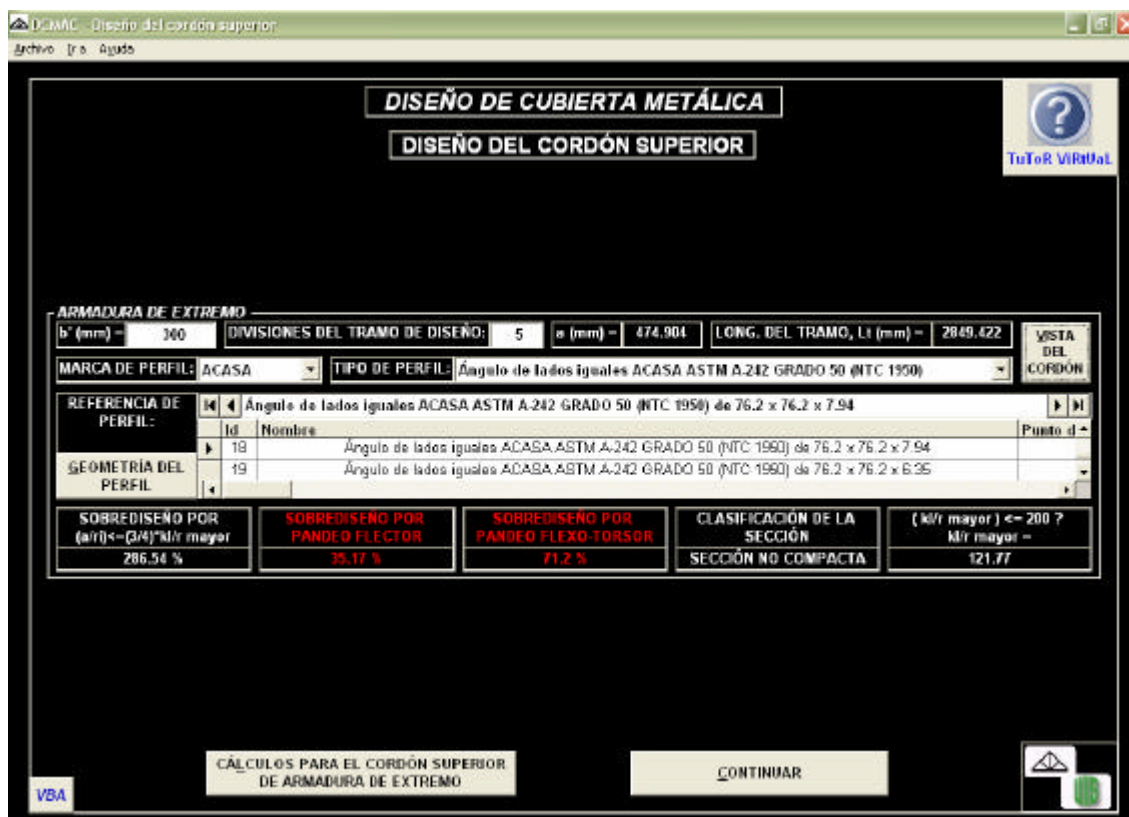
CÁLCULOS PARA EL CORDÓN SUPERIOR DE ARMADURA DE EXTREMO

CÁLCULOS PARA EL CORDÓN SUPERIOR DE ARMADURA INTERMEDIA

CONTINUAR

El módulo Diseño del cordón superior es el décimo segundo módulo principal. DCMAC realiza el diseño del cordón superior para armaduras de extremo y armaduras intermedias dependiendo si la cubierta cuenta con los dos tipos de armadura (Figura 40.), en caso de no haber armaduras intermedias, el módulo sólo muestra las opciones correspondientes a armadura de extremo (Figura 41.).

Figura 42. Módulo de diseño del cordón superior (2)



A continuación se muestran las opciones del módulo para el diseño del cordón superior, teniendo en cuenta que son las mismas para armaduras de extremo y armaduras intermedias.

- b' (mm): Es el ancho total de la sección transversal del cordón superior comprendido entre los bordes externos de alas de los perfiles.
- Divisiones del tramo de diseño: Es el número de divisiones en el elemento de diseño del cordón superior que establece la cantidad de conectores en el mismo. La mínima cantidad de divisiones del tramo que el usuario puede ingresar es cero mientras la máxima es función de la distancia entre conectores "a", que no puede ser menor de 300 milímetros (valor mínimo considerado por DCMAC para el diseño).

- a (mm): Es la distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior.
- Longitud del tramo, Lt (mm): Es la longitud del tramo de diseño o elemento mas cargado del cordón superior.

Este módulo permite al usuario seleccionar los perfiles para el diseño del cordón superior. DCMAC permite el diseño con perfiles comerciales. El usuario debe primero seleccionar la marca, luego el tipo y finalmente la referencia; para ello puede diferenciar cada una ellas de acuerdo a sus especificaciones.

Las especificaciones que se muestran para cada referencia de perfil son las siguientes:

- Nombre.
- Punto de fluencia mínimo (MPa).
- Longitud de ala (mm).
- Espesor (t) (mm).
- Peso (Kg/m).
- Área (cm^2).
- I (Ejes XX-YY) (cm^4).
- S (Ejes XX-YY) (cm^3).
- r (Ejes XX-YY) (cm).
- $x = y$ (Ejes XX-YY) (cm).
- r (Eje ZZ) (cm).

Estos datos son tomados de las especificaciones técnicas suministradas por los proveedores.

El usuario puede visualizar la geometría del perfil y la sección transversal del cordón superior junto a la geometría del tramo de diseño haciendo clic en los botones Geometría del perfil y Vista del cordón respectivamente.

En el módulo se muestra si la mayor relación de esbeltez de los componentes individuales cumple con no exceder las tres cuartas partes de la relación de esbeltez predominante de la sección, si es apta por pandeo flector, si es apta por pandeo flexo-torsor y si la sección es no compacta o esbelta. Los valores de las conclusiones se expresan en porcentaje de sobrediseño para el cordón superior; en donde un 100% es un porcentaje ideal para cada uno de los criterios mostrados. Estas relaciones se explican con detalle en los módulos Cálculos para el cordón superior de armadura de extremo y Cálculos para el cordón superior de armadura intermedia, respectivamente.

DCMAC muestra en color rojo los valores de las conclusiones que no alcanzan un porcentaje de 100% y los valores que son críticos para el diseño, con el fin de que el usuario los identifique visualmente con facilidad y pueda seguir diseñando con comodidad.

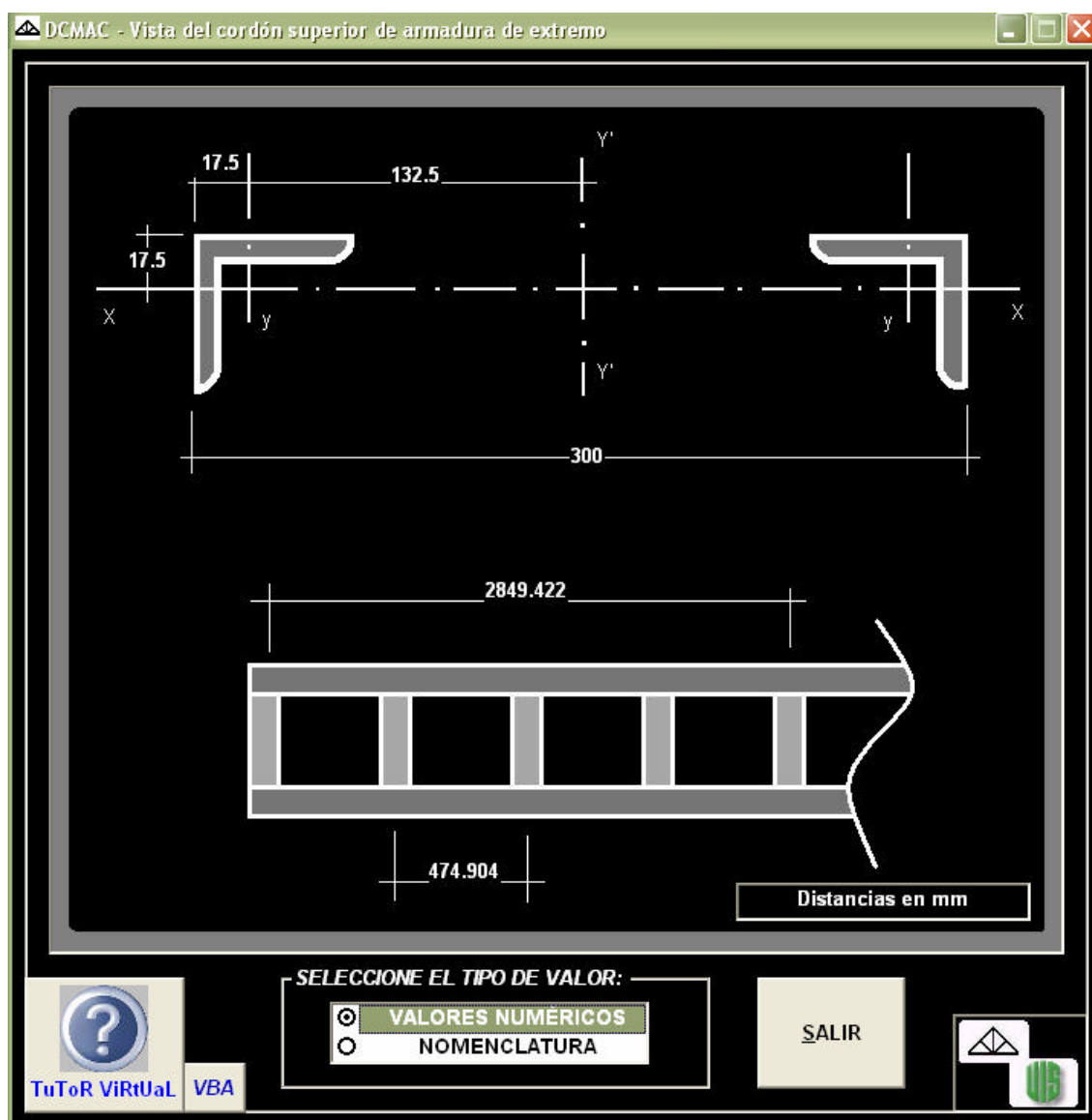
Los botones Cálculos para el cordón superior de armadura de extremo y Cálculos para el cordón superior de armadura intermedia, dado el caso, como su nombre lo indica, muestran los cálculos hechos por DCMAC que justifican el diseño del cordón superior.

4.5.13.1 Módulo Vista del cordón superior de armadura de extremo

El módulo Vista del cordón superior de armadura de extremo es un módulo secundario que muestra al usuario la geometría de la sección transversal, la configuración de los perfiles y la geometría del tramo de diseño del cordón superior de armaduras de extremo.

DCMAC permite al usuario elegir si desea visualizar los valores numéricos o la nomenclatura de los mismos con el fin de facilitar la lectura de los valores mostrados.

Figura 43. Módulo Vista del cordón superior de armadura de extremo



Los valores que se muestran en este módulo son los siguientes:

Nota: Las unidades de los valores que se muestran en el módulo Vista del cordón superior de armadura de extremo son en milímetros; sin embargo, las variables y los cálculos mostrados a continuación pueden no coincidir con las unidades del módulo.

- b' : Ancho de la sección transversal del cordón superior comprendido entre bordes externos de alas de perfiles (mm).
- x : Distancia del borde de ala al eje centroidal “y” del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior (cm).
- y : Distancia del borde de ala al eje centroidal “x” del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior (cm).
- d : Distancia desde el eje centroidal “y” del perfil al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior (mm).

$$d = \frac{b' - 2(x * 10)}{2}$$

Donde:

d : Distancia desde el eje centroidal “y” del perfil al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior (mm).

b' : Ancho de la sección transversal del cordón superior comprendido entre los bordes externos de alas de los perfiles (mm).

x : Distancia del borde de ala al eje centroidal “y” del perfil (cm).

- L_t : Longitud del elemento mas cargado del cordón superior.
- a : Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior.

4.5.13.2 Módulo Cálculos para el cordón superior de armadura de extremo

Figura 44. Módulo Cálculos para el cordón superior de armadura de extremo

- DATOS Y CÁLCULOS GENERALES PARA EL CORDÓN SUPERIOR:	
Fuerza última de diseño, P_u (KN) =	-175.276
Esfuerzo de fluencia del perfil, f_y (MPa) =	345
Módulo de Elasticidad del acero, E (MPa) =	200000

- DATOS DEL PERFIL:	
Área del perfil (mm^2) =	590
Distancia desde el centroide del perfil a su borde en 'x', x (mm) =	17.5
Distancia desde el centroide del perfil a su borde en 'y', y (mm) =	17.5

- CÁLCULOS PARA EL PANDEO FLECTOR:	
Longitud en 'x' del individuo, L_{xi} (mm) =	2849.422
Longitud en 'y' del individuo, L_{yi} (mm) =	474.904
Longitud en 'z' del individuo, L_{zi} (mm) =	474.904

- CÁLCULOS PARA EL PANDEO FLEXO-TORSOR:	
Coordenada 'x' del centro de corte respecto al centroide de la sección, x_o (mm) =	0
Espesor del perfil, t (mm) =	4.76
Coordenada 'y' del centro de corte respecto al centroide de la sección, y_o (mm) =	15.12

- CÁLCULOS PARA EL PANDEO LOCAL:	
Longitud de ala del perfil, b (mm) =	63.5
Espesor del perfil, t (mm) =	4.76
Relación: Longitud de ala del perfil / Espesor del perfil, b/t =	13.34

TuToR VIRIUAL VBA SALIR

El módulo Cálculos para el cordón superior de armadura de extremo es un módulo secundario que permite al usuario visualizar los cálculos realizados por DCMAC para el diseño del cordón superior de armaduras de extremo. Los valores mostrados en este módulo son los siguientes:

Datos y cálculos generales para el cordón superior:

- Fuerza última de diseño, P_u (KN): Es la mayor fuerza de los elementos del cordón superior.

- Esfuerzo de fluencia del perfil, f_y (Mpa): Esfuerzo de fluencia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Módulo de elasticidad del acero, E (Mpa): Módulo de elasticidad del acero: 200000 Mpa.
- Separación entre perfiles (ancho de armadura), b' (mm): Es el ancho del cordón superior comprendido entre los bordes externos de alas de los dos perfiles.
- Distancia desde el centroide del perfil al eje "Y" de la sección, d (mm).
- Longitud del tramo de diseño (Longitud del elemento), L_t mm: Es la longitud del elemento más cargado del cordón superior.
- Divisiones del tramo de diseño: Es el número de divisiones en el elemento de diseño del cordón superior que establece la cantidad de conectores en el mismo.
- Distancia entre conectores, a (mm): Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior.
- Área total de la sección (mm^2): Área de los perfiles que conforman la sección transversal del cordón superior seleccionados en el módulo Diseño del cordón superior.

Datos del perfil:

- Área del perfil, (mm^2): Área de la sección transversal del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.

- Distancia desde el centroide del perfil a su borde en “x”, x (mm). Distancia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Distancia desde el centroide del perfil a su borde en “y”, y (mm). Distancia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en “x” del perfil, r_{xp} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en “y” del perfil, r_{yp} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en “z” del perfil, r_{zp} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.
- Inercia en “x” del perfil, I_x (mm⁴): Inercia del perfil respecto al eje centroidal “x” de su sección transversal seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.
- Inercia en “y” del perfil, I_y (mm⁴): Inercia del perfil respecto al eje centroidal “y” de su sección transversal seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.

Cálculos para el pandeo flector:

- Longitud en “x” del individuo, Lxi (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro del individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil.

$$Lxi_{CS} = Lt_{CS}$$

Donde:

Lxi_{CS} : Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil (mm).

Lt_{CS} : Longitud del elemento mas cargado del cordón superior (mm).

- Longitud en “y” del individuo, Lyi (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro del individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil.

$$Lyi_{CS} = a$$

Donde:

Lyi_{CS} : Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil (mm).

a : Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior (mm).

- Longitud en “z” del individuo, Lzi (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro del individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil.

$$Lxi_{CS} = a$$

Donde:

Lxi_{CS} : Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "z" del perfil (mm).

- Radio de giro en "x" del individuo, rx_i (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "x" del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en "y" del individuo, ry_i (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "y" del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en "z" del individuo, rz_i (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "z" del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Relación de esbeltez en "x" del individuo ($K*L/r$) xi : Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal "x" del perfil del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r} \right)_{(X)PCS} = \frac{k (Lxi_{CS})}{rx_P}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil del cordón superior.

$$k = 1$$

- Relación de esbeltez en “y” del individuo (K^*L/r)_y: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)PCS} = \frac{k (Ly_{i_{CS}})}{ry_P}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil del cordón superior.

$$k = 1$$

- Relación de esbeltez en “z” del individuo (K^*L/r)_z: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Z)PCS} = \frac{k (Lz_{i_{CS}})}{rz_P}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(z)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil del cordón superior.

$$k = 1$$

- Longitud en “x” del conjunto, L_{xc} (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior.

$$L_{xc_{CS}} = Lt_{CS}$$

Donde:

$L_{xc_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de de la sección transversal del cordón superior (mm).

Lt_{CS} : Longitud del elemento mas cargado del cordón superior (mm).

- Longitud en “y” del conjunto, L_{yc} (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior.

$$L_{yc_{CS}} = (L_{CS} * 10^3)$$

Donde:

$L_{yc_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de de la sección transversal del cordón superior (mm).

L_{CS} : Longitud del cordón superior desde un apoyo hasta la cumbrera (m).

- Radio de giro en “x” del conjunto, r_{xc} (mm): Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior.

$$r_{xc_{CS}} = r_{x_P}$$

Donde:

$r_{xc_{CS}}$: Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior (mm).

r_{x_P} : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil (mm).

- Radio de giro en “y” del conjunto, r_{yc} (mm): Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior.

$$r_{yc_{CS}} = \sqrt{d^2 + r_{y_P}^2}$$

Donde:

$r_{yc_{CS}}$: Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior (mm).

d : Distancia desde el eje centroidal “y” del perfil al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior (mm).

r_{y_P} : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil (mm).

- Relación de esbeltez en “x” del conjunto $(K^*L/r)_{xc}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)CS} = \frac{k(Lx_{c_{CS}})}{rx_{c_{CS}}}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(X)CS}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior.

$$k = 1$$

- Relación de esbeltez en “y” del conjunto $(K^*L/r)_{yc}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS} = \frac{k(Ly_{c_{CS}})}{ry_{c_{CS}}}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior.

$$k = 1$$

- Radio mínimo de giro del perfil, r_i (mm): Radio mínimo de giro de un componente individual del cordón superior (mm). Es el menor de los radios de giro de los perfiles.
- Distancia entre conectores, a (mm): Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior.

$$a = \frac{Lt_{CS}}{(t_{CS} + 1)}$$

Donde:

a : Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior (mm).

Lt_{CS} : Longitud del elemento mas cargado del cordón superior (mm).

t_{CS} : Número de divisiones del elemento de diseño del cordón superior.

- Relación de esbeltez $\left(\frac{a}{r_i}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

$$\left(\frac{a}{r_i}\right) = \frac{a}{r_{iCS}}$$

Donde:

$\left(\frac{a}{r_i}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

ri_{CS} : Radio mínimo de giro de un componente individual del cordón superior (mm).

- Relación de esbeltez modificada para conectores intermedios $(K^*L/r)_m$: Relación de esbeltez debido a los esfuerzos cortantes en los conectores que unen los dos ángulos por el efecto del pandeo alrededor del eje "Y" de la sección transversal en el cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)M} = \sqrt{\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS}^2 + \left(\frac{a}{ri}\right)}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)M}$: Relación de esbeltez debido a los esfuerzos cortantes en los conectores que unen los dos ángulos por el efecto del pandeo alrededor del eje "Y" de la sección transversal en el cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la sección transversal del cordón superior.

$\left(\frac{a}{ri}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

- La mayor relación de esbeltez $(K^*L/r)_{mayor}$: Es la mayor relación de esbeltez respecto a la sección transversal del cordón superior.
- Porcentaje de sobrediseño $[\{(3/4)^*(K^*L/r)_{mayor}\}/(a/ri)]$ (%): Porcentaje que indica si la relación se cumple para el diseño del cordón superior por pandeo flector.

DCMAC analiza si se cumple la siguiente condición:

$$\left(\frac{a}{r_i}\right) \leq \frac{3}{4} \left(\frac{kl}{r}\right)_{CS}$$

Y muestra el resultado en porcentaje de sobrediseño de la siguiente forma:

$$\% = \frac{\frac{3}{4} \left(\frac{kl}{r}\right)_{CS}}{\left(\frac{a}{r_i}\right)} * 100$$

Donde:

$\left(\frac{a}{r_i}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{CS}$: La mayor relación de esbeltez para el cordón superior.

- Parámetro de esbeltez para pandeo flector: Parámetro de esbeltez que se tiene en cuenta para el cálculo del esfuerzo crítico por pandeo flector.

$$I_{cf_{CS}} = \left(\frac{kl}{r}\right)_{CS} \frac{1}{P} \sqrt{\frac{f_{y_P}}{E}}$$

Donde:

$I_{cf_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para pandeo flector en el cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{CS}$: La mayor relación de esbeltez para el cordón superior.

- Esfuerzo crítico por pandeo flector, F_{crf} (Mpa): Esfuerzo crítico del cordón superior por pandeo flector.

El cálculo del esfuerzo crítico por pandeo flector se realiza teniendo en cuenta el valor del parámetro de esbeltez:

1. Si $I_{cf_{CS}} \leq 1.5$:

$$F_{crf_{CS}} = \left(0.568^{I_{cf_{CS}}^2}\right) f_{y_P}$$

2. Si $I_{cf_{CS}} > 1.5$:

$$F_{crf_{CS}} = \left(\frac{0.877}{I_{cf_{CS}}^2}\right) f_{y_P}$$

Donde:

$F_{crf_{CS}}$: Esfuerzo crítico por pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

$I_{cf_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para el cordón superior.

f_{y_P} : Esfuerzo de fluencia para el perfil (Mpa).

- Área total de la sección (mm^2): Área de los perfiles que conforman la sección transversal del cordón superior.
- Factor de resistencia f : Factor de resistencia para el pandeo flector: 0.85

- Resistencia nominal de diseño por pandeo flector, $fPnf$ (Mpa):
Resistencia nominal de diseño por pandeo flector del cordón superior.

$$fPnf_{CS} = (f Fcrf_{CS} Acs) * \frac{1}{1000}$$

Donde:

$fPnf_{CS}$: Resistencia nominal de diseño por pandeo flector del cordón superior (KN).

$$f = 0.85$$

$Fcrf_{CS}$: Esfuerzo crítico por pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

A_{CS} : Área total de la sección transversal del cordón superior (mm²).

- Porcentaje de sobrediseño: $[(fPnf) / Pu]$ (%). Este porcentaje permite al usuario identificar si la sección es apta por pandeo flector, donde un 100% es un porcentaje ideal para el diseño de la sección.

DCMAC calcula el porcentaje de sobrediseño para identificar si la sección es apta por pandeo flector de la siguiente manera:

$$\% = \left(\frac{fPnf_{CS}}{Pu_{CS}} \right) * 100$$

Donde:

$$Pu_{CS} = F_{CS}$$

Pu_{CS} : Fuerza última de diseño del cordón superior (KN).

F_{CS} : Fuerza de diseño del cordón superior (KN).

Cálculos para el pandeo flexo-torsor:

- Coordenada “x” del centro de corte respecto al centroide de la sección, x_0 (mm): Distancia desde el eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma.

$$\bar{X}_0 = 0$$

Donde:

\bar{X}_0 : Distancia desde el eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma (mm).

- Espesor del perfil, t (mm): Espesor de ala del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Coordenada “y” del centro de corte respecto al centroide de la sección, y_0 (mm): Distancia desde el eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma.

$$\bar{Y}_0 = (y * 10) - \frac{t_P}{2}$$

Donde:

\bar{Y}_0 : Distancia desde el eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma (mm).

y : Distancia del borde del ala al eje centroidal “x” del perfil (cm).

t_p : Espesor de ala del perfil (mm).

- Inercia “x” de un perfil, I_x (mm⁴): Inercia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior respecto al eje centroidal “x” de su sección transversal.
- Inercia “y” de un perfil, I_y (mm⁴): Inercia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior respecto al eje centroidal “y” de su sección transversal.
- Área de un perfil, A (mm²): Área bruta del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio polar de giro con respecto al centro de cortante, r_0 (mm): Radio polar de giro con respecto al centro de cortante de la sección transversal del cordón superior.

$$\bar{r}_0 = \sqrt{\bar{X}_0^2 + \bar{Y}_0^2 + \left(\frac{(I_{x_p} + I_{y_p}) * 10^4}{A_p * 10^2} \right)}$$

Donde:

\bar{r}_0 : Radio polar de giro con respecto al centro de cortante de la sección transversal del cordón superior (mm).

I_{x_p} : Inercia del perfil respecto al eje centroidal “x” de su sección transversal (cm⁴).

I_{y_p} : Inercia del perfil respecto al eje centroidal “y” de su sección transversal (cm⁴).

A_p : Área de la sección del perfil (cm²).

- Parámetro H para Flexo-Torsión, H : Parámetro que ayuda a calcular el esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor del cordón superior.

$$H = 1 - \left(\frac{\bar{X}_0 + \bar{Y}_0}{\bar{r}_0^2} \right)$$

- Módulo cortante, G (Mpa): Módulo de cortante para el acero.

$$G = 0.4 \cdot E = 80000 \text{ MPa}$$

Donde:

G : Módulo de cortante para el acero (Mpa).

E : Módulo de elasticidad para el acero (200000 Mpa).

- Longitud de ala del perfil menos la mitad del espesor, b'' (mm): Longitud de ala del perfil que se tiene en cuenta para el cálculo de la constante torsional.

$$b'' = \left(L_p - \frac{t_p}{2} \right)$$

Donde:

b'' : Longitud de ala del perfil para el cálculo de la constante torsional, J (mm).

L_p : Longitud de ala del perfil (mm).

t_p : Espesor de ala del perfil (mm).

- Constante torsional, J (mm⁴): Constante torsional para el perfil.

$$J = \frac{\sum b'' t_p^3}{3}$$

Donde:

J : Constante torsional para la sección del cordón superior (mm^4).

- Esfuerzo crítico nominal por pandeo torsor, F_{crz} (Mpa): Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo torsor.

$$F_{crz_{CS}} = \frac{G J}{(A_p * 10^2) \bar{r}_0^2}$$

Donde:

$F_{crz_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo torsor para el cordón superior (Mpa).

- Relación de esbeltez para el esfuerzo crítico nominal por pandeo flector, $(K*L/r)$ m: Relación de esbeltez que se tiene en cuenta para calcular el esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)M} = \sqrt{\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS}^2 + \left(\frac{a}{ri}\right)}$$

- Parámetro de esbeltez para el esfuerzo crítico nominal por pandeo flector: Parámetro de esbeltez que se tiene en cuenta para al cálculo del esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

$$I_{cy_{CS}} = \left(\frac{kl}{r} \right)_{(Y)M} \frac{1}{P} \sqrt{\frac{fy_P}{E}}$$

Donde:

$I_{cy_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para el cálculo del esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

- Esfuerzo crítico nominal por pandeo flector, F_{cry} (Mpa): Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

El cálculo del esfuerzo crítico nominal por pandeo flector se calcula teniendo en cuenta el valor del parámetro de esbeltez de la siguiente manera:

1. Si $I_{cy_{CS}} \leq 1.5$:

$$F_{cry_{CS}} = \left(0.568 I_{cy_{CS}}^2 \right) fy_P$$

2. Si $I_{cy_{CS}} > 1.5$:

$$F_{cry_{CS}} = \left(\frac{0.877}{I_{cy_{CS}}^2} \right) fy_P$$

Donde:

$F_{cry_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

$I_{cy_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para el cálculo del esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

f_y : Esfuerzo de fluencia para el perfil (Mpa).

- Esfuerzo crítico nominal por pandeo flector-torsor, F_{crft} (Mpa): Esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor para el cordón superior.

$$F_{crft_{CS}} = \left[\frac{F_{cry_{CS}} + F_{crz_{CS}}}{2H} \right] \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry_{CS}} F_{crz_{CS}} H}{(F_{cry_{CS}} + F_{crz_{CS}})^2}} \right]$$

Donde:

$F_{crft_{CS}}$: Esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor para el cordón superior (Mpa).

$F_{cry_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

$F_{crz_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo torsor para el cordón superior (Mpa).

H : Parámetro para calcular el esfuerzo crítico del cordón superior por pandeo flexo-torsor.

- Área total de la sección (mm^2): Área de los perfiles que conforman la sección transversal del cordón superior.
- Factor de resistencia, f : Factor de resistencia para el pandeo flector: 0.85
- Resistencia nominal de diseño por pandeo flexo-torsor, fP_{nft} (KN): Resistencia nominal de diseño por pandeo flexo-torsor del cordón superior.

$$fPnft_{CS} = (f Fcrft_{CS} Acs) * \frac{1}{1000}$$

Donde:

$fPnft_{CS}$: Resistencia nominal de diseño por pandeo flexo-torsor del cordón superior (KN).

$$f = 0.85$$

$Fcrft_{CS}$: Esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor para el cordón superior (Mpa).

A_{CS} : Área total de la sección transversal del cordón superior (mm²).

- Porcentaje de sobrediseño: $[(fPnft) / Pu]$ (%): Este porcentaje permite al usuario identificar si la sección es apta por pandeo flexo-torsor, donde un 100% es un porcentaje ideal para el diseño de la sección.

$$\% = \left(\frac{fPnft_{CS}}{Pu_{CS}} \right) * 100$$

Donde:

$$Pu_{CS} = F_{CS}$$

Pu_{CS} : Fuerza última de diseño del cordón superior (KN).

F_{CS} : Fuerza de diseño del cordón superior (KN).

Cálculos para el pandeo local:

- Longitud de ala del perfil, b (mm): Ancho del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior para calcular la relación *ancho – espesor* del perfil.

- Espesor del perfil, t (mm): Espesor de ala del perfil seleccionado.
- Relación *ancho - espesor*, b/t : Relación ancho espesor para el perfil.

$$\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{L_p}{t_p}$$

Donde:

$\left(\frac{b}{t}\right)$: Relación ancho - espesor de una sección.

L_p : Longitud de ala del perfil (mm).

t_p : Espesor de ala del perfil (mm).

- Valor límite, l_r : Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto.

$$l_r = \frac{200}{\sqrt{f_{y_p}}}$$

Donde:

l_r : Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto.

f_{y_p} : Esfuerzo de fluencia del perfil (Mpa).

- Clasificación de la sección: Clasificación de la sección según su relación *ancho – espesor* y el valor límite l_r .

Teniendo en cuenta lo siguiente, DCMAC determina si la sección es no compacta o es esbelta:

Si se cumple la relación:

$$\left(\frac{b}{t}\right) \leq I_r, \text{ La sección es no compacta, de lo contrario es esbelta.}$$

4.5.13.3 Módulo Vista del cordón superior de armadura intermedia

El módulo Vista del cordón superior de armadura intermedia es un módulo secundario que muestra al usuario la geometría de la sección transversal, la configuración de los perfiles y la geometría del tramo de diseño del cordón superior de armaduras intermedias.

DCMAC permite al usuario elegir si desea visualizar los valores numéricos o la nomenclatura de los mismos con el fin de facilitar la lectura de los valores mostrados.

Los valores que se muestran en este módulo son los siguientes:

Nota: Las unidades de los valores que se muestran en el módulo Vista del cordón superior de armadura intermedia son en milímetros; sin embargo, las variables y los cálculos mostrados a continuación pueden no coincidir con las unidades del módulo.

- b' : Ancho de la sección transversal del cordón superior comprendido entre bordes externos de alas de perfiles (mm).
- x : Distancia del borde de ala al eje centroidal “y” del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior (cm).
- y : Distancia del borde de ala al eje centroidal “x” del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior (cm).

- d : Distancia desde el eje centroidal “y” del perfil al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior (mm).

$$d = \frac{b' - 2(x * 10)}{2}$$

Donde:

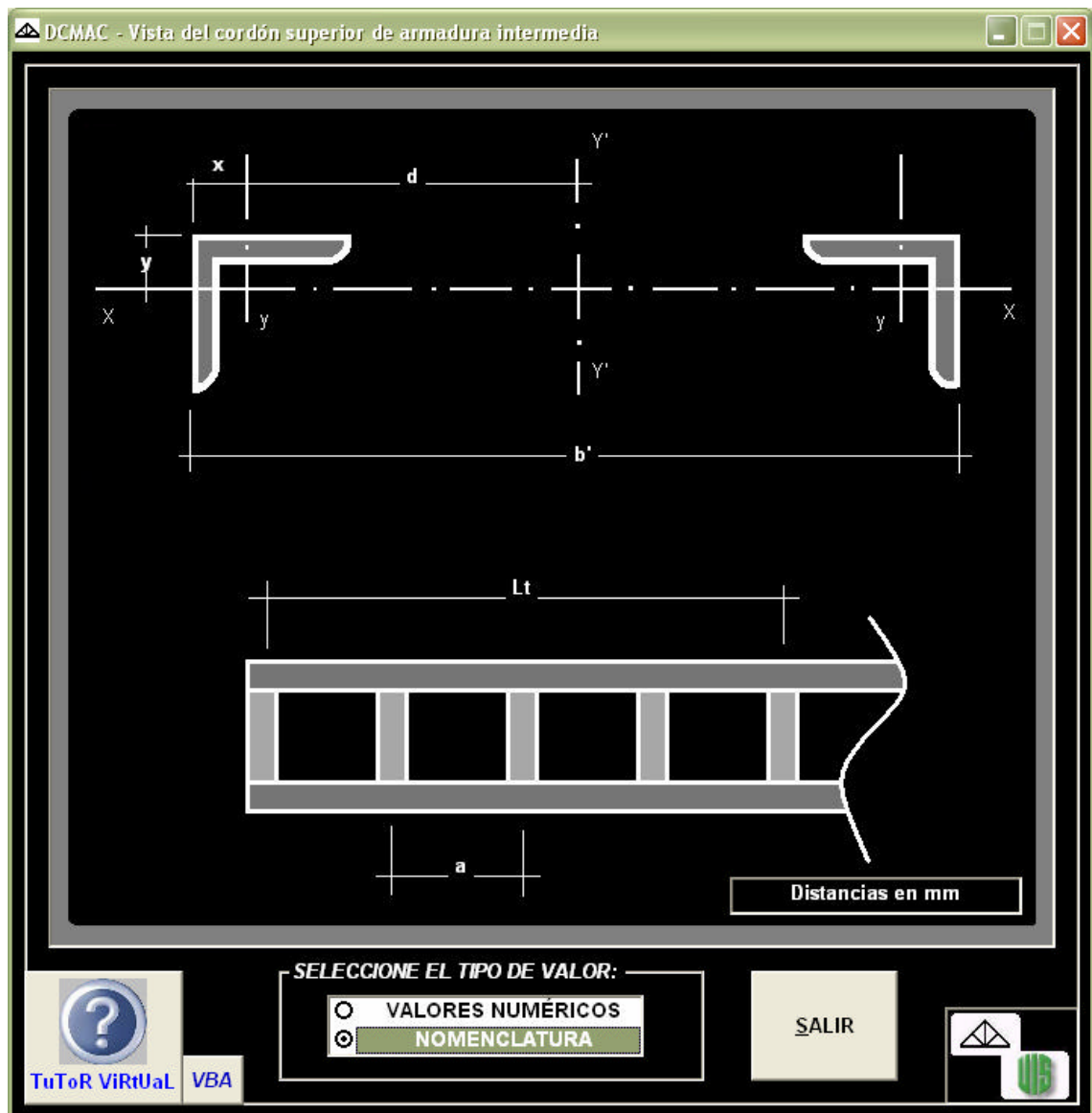
d : Distancia desde el eje centroidal “y” del perfil al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior (mm).

b' : Ancho de la sección transversal del cordón superior comprendido entre los bordes externos de alas de los perfiles (mm).

x : Distancia del borde de ala al eje centroidal “y” del perfil (cm).

- L_t : Longitud del elemento mas cargado del cordón superior.
- a : Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior.

Figura 45. Módulo Vista del cordón superior de armadura intermedia



4.5.13.4 Módulo Cálculos para el cordón superior de armadura intermedia

Figura 46. Módulo Cálculos para el cordón superior de armadura intermedia

DATOS Y CÁLCULOS GENERALES PARA EL CORDÓN SUPERIOR:	
Fuerza última de diseño, P_u (KN) =	350.552
Esfuerzo de fluencia del perfil, f_y (MPa) =	345
Módulo de Elasticidad del acero, E (MPa) =	200000

DATOS DEL PERFIL:	
Área del perfil (mm^2) =	1150
Distancia desde el centroide del perfil a su borde en 'x', x (mm) =	22
Distancia desde el centroide del perfil a su borde en 'y', y (mm) =	22

CÁLCULOS PARA EL PANDEO FLECTOR:	
Longitud en 'x' del individuo, L_{xi} (mm) =	2849.422
Longitud en 'y' del individuo, L_{yi} (mm) =	949.807
Longitud en 'z' del individuo, L_{zi} (mm) =	949.807

CÁLCULOS PARA EL PANDEO FLEXO-TORSOR:	
Coordenada 'x' del centro de corte respecto al centroide de la sección, x_o (mm) =	0
Espesor del perfil, t (mm) =	7.94
Coordenada 'y' del centro de corte respecto al centroide de la sección, y_o (mm) =	18.03

CÁLCULOS PARA EL PANDEO LOCAL:	
Longitud de ala del perfil, b (mm) =	76.2
Espesor del perfil, t (mm) =	7.94
Relación: Longitud de ala del perfil / Espesor del perfil, b/t =	9.597

TuToR VIRUaL VBA SALIR

El módulo Cálculos para el cordón superior de armadura intermedia es un módulo secundario que permite al usuario visualizar los cálculos realizados por DCMAC para el diseño del cordón superior de armaduras de extremo. Los valores mostrados en este módulo son los siguientes:

Datos y cálculos generales para el cordón superior:

- Fuerza última de diseño, P_u (KN): Es la mayor fuerza de los elementos del cordón superior.

- Esfuerzo de fluencia del perfil, f_y (Mpa): Esfuerzo de fluencia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Módulo de elasticidad del acero, E (Mpa): Módulo de elasticidad del acero: 200000 Mpa.
- Separación entre perfiles (ancho de armadura), b' (mm): Es el ancho del cordón superior comprendido entre los bordes externos de alas de los dos perfiles.
- Distancia desde el centroide del perfil al eje "Y" de la sección, d (mm).
- Longitud del tramo de diseño (Longitud del elemento), L_t mm: Es la longitud del elemento más cargado del cordón superior.
- Divisiones del tramo de diseño: Es el número de divisiones en el elemento de diseño del cordón superior que establece la cantidad de conectores en el mismo.
- Distancia entre conectores, a (mm): Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior.
- Área total de la sección (mm^2): Área de los perfiles que conforman la sección transversal del cordón superior seleccionados en el módulo Diseño del cordón superior.

Datos del perfil:

- Área del perfil, (mm^2): Área de la sección transversal del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.

- Distancia desde el centroide del perfil a su borde en “x”, x (mm). Distancia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Distancia desde el centroide del perfil a su borde en “y”, y (mm). Distancia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en “x” del perfil, r_{xp} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en “y” del perfil, r_{yp} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en “z” del perfil, r_{zp} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.
- Inercia en “x” del perfil, I_x (mm⁴): Inercia del perfil respecto al eje centroidal “x” de su sección transversal seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.
- Inercia en “y” del perfil, I_y (mm⁴): Inercia del perfil respecto al eje centroidal “y” de su sección transversal seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón superior.

Cálculos para el pandeo flector:

- Longitud en “x” del individuo, Lxi (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro del individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil.

$$Lxi_{CS} = Lt_{CS}$$

Donde:

Lxi_{CS} : Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil (mm).

Lt_{CS} : Longitud del elemento mas cargado del cordón superior (mm).

- Longitud en “y” del individuo, Lyi (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro del individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil.

$$Lyi_{CS} = a$$

Donde:

Lyi_{CS} : Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil (mm).

a : Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior (mm).

- Longitud en “z” del individuo, Lzi (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro del individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil.

$$Lz_{i_{CS}} = a$$

Donde:

$Lz_{i_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil (mm).

- Radio de giro en “x” del individuo, rx_i (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en “y” del individuo, ry_i (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio de giro en “z” del individuo, rz_i (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Relación de esbeltez en “x” del individuo ($K*L/r$) xi : Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r} \right)_{(X)PCS} = \frac{k (Lxi_{CS})}{rx_P}$$

Donde:

$$k = 1$$

$\left(\frac{kl}{r} \right)_{(X)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil del cordón superior.

- Relación de esbeltez en “y” del individuo (K^*L/r) y_i : Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)PCS} = \frac{k (Ly_{i_{CS}})}{ry_P}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil del cordón superior.

$$k = 1$$

- Relación de esbeltez en “z” del individuo (K^*L/r) z_i : Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Z)PCS} = \frac{k (Lz_{i_{CS}})}{rz_P}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Z)PCS}$: Relación de esbeltez para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil del cordón superior.

$$k = 1$$

- Longitud en “x” del conjunto, L_{xc} (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior.

$$L_{xc_{CS}} = L_{t_{CS}}$$

Donde:

$L_{xc_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de de la sección transversal del cordón superior (mm).

$L_{t_{CS}}$: Longitud del elemento mas cargado del cordón superior (mm).

- Longitud en “y” del conjunto, L_{yc} (mm): Longitud que se tiene en cuenta para el cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior.

$$L_{yc_{CS}} = (L_{cs} * 10^3)$$

Donde:

$L_{yc_{CS}}$: Longitud de cálculo del radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de de la sección transversal del cordón superior (mm).

L_{cs} : Longitud del cordón superior desde un apoyo hasta la cumbrera (m).

- Radio de giro en “x” del conjunto, r_{xc} (mm): Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior.

$$r_{xc_{CS}} = r_{x_P}$$

Donde:

$r_{xc_{CS}}$: Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "X" de la sección transversal del cordón superior (mm).

r_{x_p} : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "x" del perfil (mm).

- Radio de giro en "y" del conjunto, r_{yc} (mm): Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la sección transversal del cordón superior.

$$r_{yc_{CS}} = \sqrt{d^2 + r_{y_p}}$$

Donde:

$r_{yc_{CS}}$: Radio de giro para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la sección transversal del cordón superior (mm).

d : Distancia desde el eje centroidal "y" del perfil al eje centroidal "Y" de la sección transversal del cordón superior (mm).

r_{y_p} : Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal "y" del perfil (mm).

- Relación de esbeltez en "x" del conjunto (K^*L/r)_{xc}: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal "X" de la sección transversal del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r} \right)_{(X)CS} = \frac{k (Lxc_{CS})}{r_{xc_{CS}}}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(x)CS}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal "X" de la sección transversal del cordón superior.

$$k = 1$$

- Relación de esbeltez en "y" del conjunto (K^*L/r)_{yc}: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la sección transversal del cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(y)CS} = \frac{k (Lyc_{CS})}{ryc_{CS}}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(y)CS}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal "Y" de la sección transversal del cordón superior.

$$k = 1$$

- Radio mínimo de giro del perfil, r_i (mm): Radio mínimo de giro de un componente individual del cordón superior (mm). Es el menor de los radios de giro de los perfiles.
- Distancia entre conectores, a (mm): Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior.

$$a = \frac{Lt_{CS}}{(t_{CS} + 1)}$$

Donde:

a : Distancia entre conectores del elemento de diseño del cordón superior (mm).

Lt_{CS} : Longitud del elemento mas cargado del cordón superior (mm).

t_{CS} : Número de divisiones del elemento de diseño del cordón superior.

- Relación de esbeltez $\left(\frac{a}{ri}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

$$\left(\frac{a}{ri}\right) = \frac{a}{ri_{CS}}$$

Donde:

$\left(\frac{a}{ri}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

ri_{CS} : Radio mínimo de giro de un componente individual del cordón superior (mm).

- Relación de esbeltez modificada para conectores intermedios $(K^*L/r)_m$: Relación de esbeltez debido a los esfuerzos cortantes en los conectores que unen los dos ángulos por el efecto del pandeo alrededor del eje "Y" de la sección transversal en el cordón superior.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)M} = \sqrt{\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS}^2 + \left(\frac{a}{ri}\right)}$$

Donde:

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)M}$: Relación de esbeltez debido a los esfuerzos cortantes en los conectores que unen los dos ángulos por el efecto del pandeo alrededor del eje “Y” de la sección transversal en el cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS}$: Relación de esbeltez para el conjunto respecto al eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior.

$\left(\frac{a}{ri}\right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

- La mayor relación de esbeltez $(K^*L/r)_{mayor}$: Es la mayor relación de esbeltez respecto a la sección transversal del cordón superior.
- Porcentaje de sobrediseño $[\{(3/4)*(K^*L/r)_{mayor}\}/(a/ri)]$ (%): Porcentaje que indica si la relación se cumple para el diseño del cordón superior por pandeo flector.

DCMAC analiza si se cumple la siguiente condición:

$$\left(\frac{a}{ri}\right) \leq \frac{3}{4} \left(\frac{kl}{r}\right)_{CS}$$

Y muestra el resultado en porcentaje de sobrediseño de la siguiente forma:

$$\% = \frac{\frac{3}{4} \left(\frac{kl}{r} \right)_{CS}}{\left(\frac{a}{ri} \right)} * 100$$

Donde:

$\left(\frac{a}{ri} \right)$: La mayor relación de esbeltez de los componente individuales del cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r} \right)_{CS}$: La mayor relación de esbeltez para el cordón superior.

- Parámetro de esbeltez para pandeo flector: Parámetro de esbeltez que se tiene en cuenta para el cálculo del esfuerzo crítico por pandeo flector.

$$Icf_{CS} = \left(\frac{kl}{r} \right)_{CS} \frac{1}{P} \sqrt{\frac{fy_P}{E}}$$

Donde:

Icf_{CS} : Parámetro de esbeltez para pandeo flector en el cordón superior.

$\left(\frac{kl}{r} \right)_{CS}$: La mayor relación de esbeltez para el cordón superior.

- Esfuerzo crítico por pandeo flector, $Fcrf$ (Mpa): Esfuerzo crítico del cordón superior por pandeo flector.

El cálculo del esfuerzo crítico por pandeo flector se realiza teniendo en cuenta el valor del parámetro de esbeltez:

1. Si $I_{cf_{CS}} \leq 1.5$:

$$F_{crf_{CS}} = \left(0.568^{I_{cf_{CS}}^2} \right) f_{y_P}$$

2. Si $I_{cf_{CS}} > 1.5$:

$$F_{crf_{CS}} = \left(\frac{0.877}{I_{cf_{CS}}^2} \right) f_{y_P}$$

Donde:

$F_{crf_{CS}}$: Esfuerzo crítico por pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

$I_{cf_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para el cordón superior.

f_{y_P} : Esfuerzo de fluencia para el perfil (Mpa).

- Área total de la sección (mm^2): Área de los perfiles que conforman la sección transversal del cordón superior.
- Factor de resistencia f : Factor de resistencia para el pandeo flector: 0.85
- Resistencia nominal de diseño por pandeo flector, fP_{nf} (Mpa): Resistencia nominal de diseño por pandeo flector del cordón superior.

$$fP_{nf_{CS}} = \left(f F_{crf_{CS}} A_{cs} \right) * \frac{1}{1000}$$

Donde:

$fPnf_{CS}$: Resistencia nominal de diseño por pandeo flector del cordón superior (KN).

$$f = 0.85$$

$Fcrf_{CS}$: Esfuerzo crítico por pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

A_{CS} : Área total de la sección transversal del cordón superior (mm²).

- Porcentaje de sobrediseño: $[(fPnf) / Pu]$ (%). Este porcentaje permite al usuario identificar si la sección es apta por pandeo flector, donde un 100% es un porcentaje ideal para el diseño de la sección.

DCMAC calcula el porcentaje de sobrediseño para identificar si la sección es apta por pandeo flector de la siguiente manera:

$$\% = \left(\frac{fPnf_{CS}}{Pu_{CS}} \right) * 100$$

Donde:

$$Pu_{CS} = F_{CS}$$

Pu_{CS} : Fuerza última de diseño del cordón superior (KN).

F_{CS} : Fuerza de diseño del cordón superior (KN).

Cálculos para el pandeo flexo-torsor:

- Coordenada “x” del centro de corte respecto al centroide de la sección, x_0 (mm): Distancia desde el eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma.

$$\bar{X}_0 = 0$$

Donde:

\bar{X}_0 : Distancia desde el eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma (mm).

- Espesor del perfil, t (mm): Espesor de ala del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Coordenada “y” del centro de corte respecto al centroide de la sección, y_0 (mm): Distancia desde el eje centroidal “Y” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma.

$$\bar{Y}_0 = (y * 10) - \frac{t_p}{2}$$

Donde:

\bar{Y}_0 : Distancia desde el eje centroidal “X” de la sección transversal del cordón superior al eje del centro de corte de la misma (mm).

y : Distancia del borde del ala al eje centroidal “x” del perfil (cm).

t_p : Espesor de ala del perfil (mm).

- Inercia “x” de un perfil, I_x (mm⁴): Inercia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior respecto al eje centroidal “x” de su sección transversal.
- Inercia “y” de un perfil, I_y (mm⁴): Inercia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior respecto al eje centroidal “y” de su sección transversal.
- Área de un perfil, A (mm²): Área bruta del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior.
- Radio polar de giro con respecto al centro de cortante, r_o (mm): Radio polar de giro con respecto al centro de cortante de la sección transversal del cordón superior.

$$\bar{r}_o = \sqrt{\bar{X}_0^2 + \bar{Y}_0^2 + \left(\frac{(I_{x_p} + I_{y_p}) * 10^4}{A_p * 10^2} \right)}$$

Donde:

\bar{r}_o : Radio polar de giro con respecto al centro de cortante de la sección transversal del cordón superior (mm).

I_{xp} : Inercia del perfil respecto al eje centroidal “x” de su sección transversal (cm⁴).

I_{yp} : Inercia del perfil respecto al eje centroidal “y” de su sección transversal (cm⁴).

A_p : Área de la sección del perfil (cm²).

- Parámetro H para Flexo-Torsión, H : Parámetro que ayuda a calcular el esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor del cordón superior.

$$H = 1 - \left(\frac{\bar{X}_0 + \bar{Y}_0}{\bar{r}_0^2} \right)$$

- Módulo cortante, G (Mpa): Módulo de cortante para el acero.

$$G = 0.4 \cdot E = 80000 \text{ MPa}$$

Donde:

G : Módulo de cortante para el acero (Mpa).

E : Módulo de elasticidad para el acero (200000 Mpa).

- Longitud de ala del perfil menos la mitad del espesor, b'' (mm): Longitud de ala del perfil que se tiene en cuenta para el cálculo de la constante torsional.

$$b'' = \left(L_p - \frac{t_p}{2} \right)$$

Donde:

b'' : Longitud de ala del perfil para el cálculo de la constante torsional, J (mm).

L_p : Longitud de ala del perfil (mm).

t_p : Espesor de ala del perfil (mm).

- Constante torsional, J (mm⁴): Constante torsional para el perfil.

$$J = \frac{\sum b'' t_p^3}{3}$$

Donde:

J : Constante torsional para la sección del cordón superior (mm^4).

- Esfuerzo crítico nominal por pandeo torsor, F_{crz} (Mpa): Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo torsor.

$$F_{crz_{CS}} = \frac{G J}{(A_p * 10^2) \bar{r}_0^2}$$

Donde:

$F_{crz_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo torsor para el cordón superior (Mpa).

- Relación de esbeltez para el esfuerzo crítico nominal por pandeo flector, $(K*L/r)$ m: Relación de esbeltez que se tiene en cuenta para calcular el esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

$$\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)M} = \sqrt{\left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)CS}^2 + \left(\frac{a}{ri}\right)}$$

- Parámetro de esbeltez para el esfuerzo crítico nominal por pandeo flector: Parámetro de esbeltez que se tiene en cuenta para al cálculo del esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

$$I_{cy_{CS}} = \left(\frac{kl}{r}\right)_{(Y)M} \frac{1}{P} \sqrt{\frac{f_{yP}}{E}}$$

Donde:

$I_{cy_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para el cálculo del esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

- Esfuerzo crítico nominal por pandeo flector, F_{cry} (Mpa): Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

El cálculo del esfuerzo crítico nominal por pandeo flector se calcula teniendo en cuenta el valor del parámetro de esbeltez de la siguiente manera:

1. Si $I_{cy_{CS}} \leq 1.5$:

$$F_{cry_{CS}} = \left(0.568 I_{cy_{CS}}^2 \right) f_{y_P}$$

2. Si $I_{cy_{CS}} > 1.5$:

$$F_{cry_{CS}} = \left(\frac{0.877}{I_{cy_{CS}}^2} \right) f_{y_P}$$

Donde:

$F_{cry_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

$I_{cy_{CS}}$: Parámetro de esbeltez para el cálculo del esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector.

f_{y_P} : Esfuerzo de fluencia para el perfil (Mpa).

- Esfuerzo crítico nominal por pandeo flector-torsor, F_{crft} (Mpa): Esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor para el cordón superior.

$$F_{crft_{CS}} = \left[\frac{F_{cry_{CS}} + F_{crz_{CS}}}{2H} \right] \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry_{CS}} F_{crz_{CS}} H}{(F_{cry_{CS}} + F_{crz_{CS}})^2}} \right]$$

Donde:

$F_{crft_{CS}}$: Esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor para el cordón superior (Mpa).

$F_{cry_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo flector para el cordón superior (Mpa).

$F_{crz_{CS}}$: Esfuerzo crítico nominal de resistencia del pandeo torsor para el cordón superior (Mpa).

H : Parámetro para calcular el esfuerzo crítico del cordón superior por pandeo flexo-torsor.

- Área total de la sección (mm^2): Área de los perfiles que conforman la sección transversal del cordón superior.
- Factor de resistencia, f : Factor de resistencia para el pandeo flector: 0.85
- Resistencia nominal de diseño por pandeo flexo-torsor, fP_{nft} (KN): Resistencia nominal de diseño por pandeo flexo-torsor del cordón superior.

$$fP_{nft_{CS}} = (f F_{crft_{CS}} A_{CS}) * \frac{1}{1000}$$

Donde:

$fPnft_{CS}$: Resistencia nominal de diseño por pandeo flexo-torsor del cordón superior (KN).

$$f = 0.85$$

$Fcrft_{CS}$: Esfuerzo crítico por pandeo flexo-torsor para el cordón superior (Mpa).

A_{CS} : Área total de la sección transversal del cordón superior (mm²).

- Porcentaje de sobrediseño: $[(fPnft) / Pu]$ (%): Este porcentaje permite al usuario identificar si la sección es apta por pandeo flexo-torsor, donde un 100% es un porcentaje ideal para el diseño de la sección.

$$\% = \left(\frac{fPnft_{CS}}{Pu_{CS}} \right) * 100$$

Donde:

$$Pu_{CS} = F_{CS}$$

Pu_{CS} : Fuerza última de diseño del cordón superior (KN).

F_{CS} : Fuerza de diseño del cordón superior (KN).

Cálculos para el pandeo local:

- Longitud de ala del perfil, b (mm): Ancho del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón superior para calcular la relación *ancho – espesor* del perfil.
- Espesor del perfil, t (mm): Espesor de ala del perfil seleccionado.

- Relación *ancho - espesor*, b/t : Relación ancho espesor para el perfil.

$$\left(\frac{b}{t}\right) = \frac{L_p}{t_p}$$

Donde:

$\left(\frac{b}{t}\right)$: Relación ancho - espesor de una sección.

L_p : Longitud de ala del perfil (mm).

t_p : Espesor de ala del perfil (mm).

- Valor límite, l_r : Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto.

$$l_r = \frac{200}{\sqrt{f_{y_p}}}$$

Donde:

l_r : Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto.

f_{y_p} : Esfuerzo de fluencia del perfil (Mpa).

- Clasificación de la sección: Clasificación de la sección según su relación *ancho – espesor* y el valor límite l_r .

Teniendo en cuenta lo siguiente, DCMAC determina si la sección es no compacta o es esbelta:

Si se cumple la relación:

$$\left(\frac{b}{t}\right) \leq I_r, \text{ La sección es no compacta, de lo contrario es esbelta.}$$

4.5.14 Módulo Diseño del cordón inferior

Figura 47. Módulo del cordón inferior (1)

DISEÑO DE CUBIERTA METÁLICA
DISEÑO DEL CORDÓN INFERIOR

ARMADURA DE EXTREMO

SEPARACIÓN ENTRE PERFILES, b' (mm) - 300

MARCA DE PERFIL: FERRASA TIPO DE PERFIL: Ángulo de lados iguales FERRASA ASTM A-36

REFERENCIA DE PERFIL:

Id	Nombre	Punto
16	Ángulo de lados iguales FERRASA ASTM A-36 de 76.2 x 76.2 x 12.70	
17	Ángulo de lados iguales FERRASA ASTM A-36 de 76.2 x 76.2 x 9.53	

GEOMETRÍA DEL PERFIL

SOBREDISEÑO POR FLUENCIA EN ÁREA BRUTA (%) - 124.23

CÁLCULOS PARA EL CORDÓN INFERIOR DE ARMADURA DE EXTREMO

VBA

TuTOR VIRTUAl

Figura 48. Módulo del cordón inferior (2)



El módulo Diseño del cordón inferior es el décimo tercer módulo principal. DCMAC realiza el diseño del cordón inferior para armaduras de extremo y armaduras intermedias dependiendo si la cubierta cuenta con los dos tipos de armadura; en caso de no haber armaduras intermedias, el módulo sólo muestra las opciones correspondientes a armadura de extremo.

La figura 46 muestra el entorno visual del módulo con las opciones para el diseño del cordón superior de armaduras de extremo y la figura 47 muestra el entorno visual del módulo con las opciones para el diseño del cordón superior de armaduras de extremo y armaduras intermedias.

DCMAC muestra la separación para los perfiles del cordón inferior que es la misma separación de los perfiles del cordón superior. Este valor es ingresado en el módulo Diseño del cordón superior.

Este módulo permite al usuario seleccionar los perfiles para el diseño del cordón inferior. DCMAC permite diseñar con perfiles comerciales. El usuario debe primero seleccionar la marca, luego el tipo y finalmente la referencia; para ello puede diferenciar cada una de ellas de acuerdo a sus especificaciones.

Las especificaciones que se muestran para cada referencia de perfil son las siguientes:

- Nombre.
- Punto de fluencia mínimo (MPa).
- Longitud de ala (mm).
- Espesor (t) (mm).
- Peso (Kg/m).
- Área (cm²).
- I (Ejes XX-YY) (cm⁴).
- S (Ejes XX-YY) (cm³).
- r (Ejes XX-YY) (cm).
- x = y (Ejes XX-YY) (cm).
- r (Eje ZZ) (cm).

Estos datos son tomados de las especificaciones técnicas suministradas por los proveedores.

Haciendo clic en el botón Geometría del perfil el usuario puede visualizar la nomenclatura de la sección transversal del perfil.

En el módulo se muestra si la sección es apta por fluencia en área bruta; este valor se expresa en porcentaje de sobrediseño por fluencia en área bruta para el cordón inferior de armaduras de extremo y de armaduras intermedias, dado el caso; en donde un 100% es un porcentaje ideal para el criterio mostrado. Esta relación se explica con detalle en los módulos Cálculos para el cordón

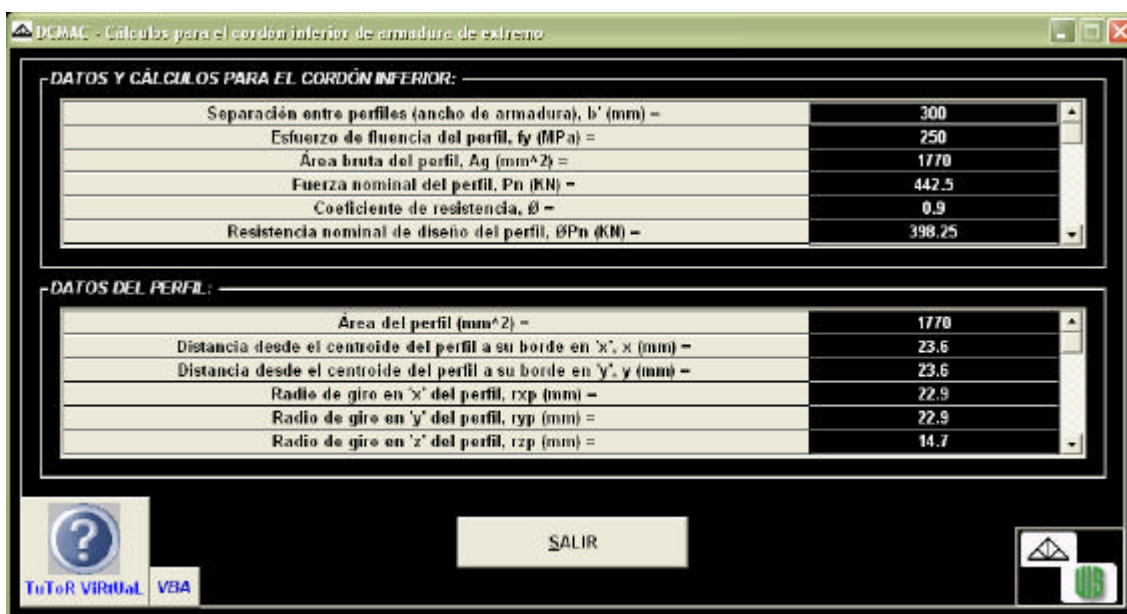
inferior de armadura de extremo y Cálculos para el cordón inferior de armadura intermedia, respectivamente.

DCMAC muestra en color rojo los valores de sobrediseño que no alcanzan un porcentaje de 100% con el fin de que el usuario los identifique visualmente con facilidad y pueda seguir diseñando con comodidad.

Los botones Cálculos para el cordón inferior de armadura de extremo y Cálculos para el cordón inferior de armadura intermedia, dado el caso, como su nombre lo indica, muestran los cálculos hechos por DCMAC que justifican el diseño a tensión de la sección.

4.5.14.1 Módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura de extremo

Figura 49. Módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura de extremo



El módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura de extremo es un módulo secundario que permite al usuario visualizar los cálculos realizados por

DCMAC para el diseño del cordón inferior de armaduras de extremo. Los valores mostrados en este módulo son los siguientes:

Datos y cálculos generales para el cordón inferior:

- Separación entre perfiles (ancho de armadura), b' (mm): Es el ancho del cordón superior comprendido entre borde externos de alas de los perfiles.
- Esfuerzo de fluencia del perfil, f_y (Mpa): Esfuerzo de fluencia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Área bruta del perfil, A_g (mm²): Área de la sección transversal del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Fuerza nominal del perfil, P_n (KN): Fuerza nominal de diseño a tensión del cordón inferior.

$$P_{n_{CI}} = (A_p * 10^2) f_{y_p}$$

Donde:

$P_{n_{CI}}$: Fuerza nominal de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior (KN).

A_p : Área de la sección del perfil (cm²).

f_{y_p} : Esfuerzo de fluencia del perfil (Mpa).

- Coeficiente de resistencia f : Factor de resistencia para el diseño a tensión: 0.90

- Resistencia nominal de diseño, fP_n (KN): Resistencia nominal de diseño por tensión del cordón inferior.

$$fP_{n_{CI}} = f P_{n_{CI}}$$

Donde:

$fP_{n_{CI}}$: Resistencia nominal de diseño a tensión del perfil para el cordón inferior (KN).

$$f = 0.90$$

- Mayor fuerza del cordón inferior, F_{mayor} (KN): Es la mayor fuerza de los elementos del cordón inferior.
- Fuerza última del perfil, P_u (KN): Fuerza última de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior.

$$P_{u_{CI}} = \frac{F_{CI}}{2}$$

Donde:

$P_{u_{CI}}$: Fuerza última de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior (KN).

F_{CI} : Fuerza de diseño del cordón inferior (KN).

- Porcentaje de sobrediseño por fluencia en el área bruta, (%): Este porcentaje permita identificar si la sección es apta por fluencia en área bruta, donde un 100% es un porcentaje ideal para el diseño de la sección.

DCMAC calcula un porcentaje de sobrediseño para identificar si la sección es apta por fluencia en el área bruta de la siguiente manera:

$$\% = \left(\frac{fPn_{CI}}{Pu_{CI}} \right) * 100$$

Donde:

fPn_{CI} : Resistencia nominal de diseño a tensión del perfil para el cordón inferior (KN).

Pu_{CI} : Fuerza última de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior (KN).

Datos del perfil:

- Área del perfil, (mm^2): Área de la sección transversal del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Distancia desde el centroide del perfil a su borde en “x”, x (mm). Distancia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Distancia desde el centroide del perfil a su borde en “y”, y (mm). Distancia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Radio de giro en “x” del perfil, r_{x_p} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.

- Radio de giro en “y” del perfil, r_{y_p} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Radio de giro en “z” del perfil, r_{z_p} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Inercia en “x” del perfil, I_x (mm⁴): Inercia del perfil respecto al eje centroidal “x” de su sección transversal seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Inercia en “y” del perfil, I_y (mm⁴): Inercia del perfil respecto al eje centroidal “y” de su sección transversal seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.

4.5.14.2 Módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura intermedia

Figura 50. Módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura intermedia

-DATOS Y CÁLCULOS PARA EL CORDÓN INFERIOR:-	
Fuerza nominal del perfil, P_n (KN) =	209.415
Coefficiente de resistencia, ϕ =	0.9
Resistencia nominal de diseño del perfil, ϕP_n (KN) =	188.474
Mayor fuerza del cordón inferior, F_{mayor} (KN) =	346.354
Fuerza última del perfil, P_u (KN) =	173.177
Porcentaje de sobrediseño por fluencia en el área bruta, (%) =	108.83

-DATOS DEL PERFIL:-	
Distancia desde el centroide del perfil a su borde en 'x', x (mm) =	14.9
Distancia desde el centroide del perfil a su borde en 'y', y (mm) =	14.9
Radio de giro en 'x' del perfil, r_{xp} (mm) =	15.5
Radio de giro en 'y' del perfil, r_{yp} (mm) =	15.5
Radio de giro en 'z' del perfil, r_{zp} (mm) =	9.9
Inercia en 'x' del perfil, I_x (mm ⁴) =	145700

El módulo Cálculos para el cordón inferior de armadura intermedia es un módulo secundario que permite al usuario visualizar los cálculos realizados por DCMAC para el diseño del cordón inferior de armaduras de extremo. Los valores mostrados en este módulo son los siguientes:

Datos y cálculos generales para el cordón inferior:

- Separación entre perfiles (ancho de armadura), b' (mm): Es el ancho del cordón superior comprendido entre borde externos de alas de los perfiles.
- Esfuerzo de fluencia del perfil, f_y (Mpa): Esfuerzo de fluencia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.

- Área bruta del perfil, A_g (mm^2): Área de la sección transversal del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Fuerza nominal del perfil, P_n (KN): Fuerza nominal de diseño a tensión del cordón inferior.

$$P_{n_{CI}} = (A_p * 10^2) f_y_p$$

Donde:

$P_{n_{CI}}$: Fuerza nominal de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior (KN).

A_p : Área de la sección del perfil (cm^2).

f_y_p : Esfuerzo de fluencia del perfil (Mpa).

- Coeficiente de resistencia f : Factor de resistencia para el diseño a tensión: 0.90
- Resistencia nominal de diseño, fP_n (KN): Resistencia nominal de diseño por tensión del cordón inferior.

$$fP_{n_{CI}} = f P_{n_{CI}}$$

Donde:

$fP_{n_{CI}}$: Resistencia nominal de diseño a tensión del perfil para el cordón inferior (KN).

$f = 0.90$

- Mayor fuerza del cordón inferior, F_{mayor} (KN): Es la mayor fuerza de los elementos del cordón inferior.
- Fuerza última del perfil, Pu (KN): Fuerza última de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior.

$$Pu_{CI} = \frac{F_{CI}}{2}$$

Donde:

Pu_{CI} : Fuerza última de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior (KN).

F_{CI} : Fuerza de diseño del cordón inferior (KN).

- Porcentaje de sobrediseño por fluencia en el área bruta, (%): Este porcentaje permita identificar si la sección es apta por fluencia en área bruta, donde un 100% es un porcentaje ideal para el diseño de la sección.

DCMAC calcula un porcentaje de sobrediseño para identificar si la sección es apta por fluencia en el área bruta de la siguiente manera:

$$\% = \left(\frac{fPn_{CI}}{Pu_{CI}} \right) * 100$$

Donde:

fPn_{CI} : Resistencia nominal de diseño a tensión del perfil para el cordón inferior (KN).

Pu_{CI} : Fuerza última de diseño a tensión para un perfil del cordón inferior (KN).

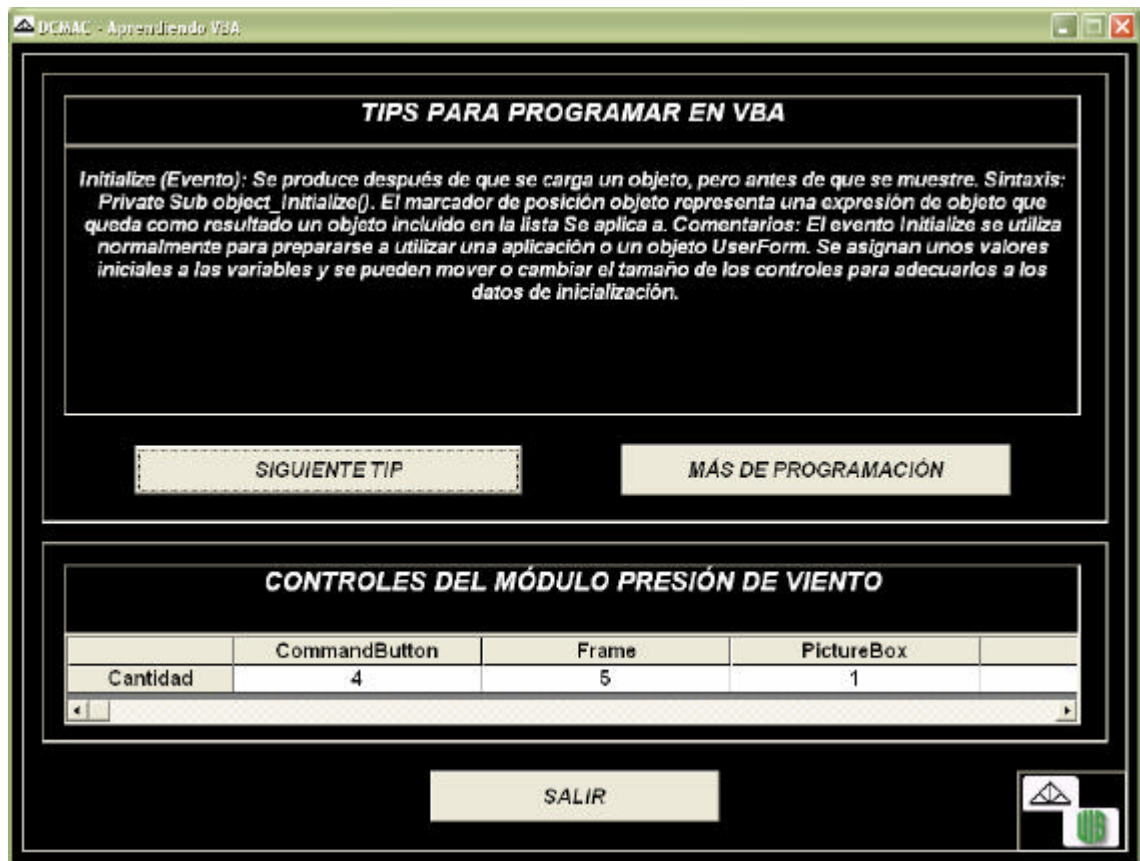
Datos del perfil:

- Área del perfil, (mm^2): Área de la sección transversal del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Distancia desde el centroide del perfil a su borde en “x”, x (mm). Distancia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Distancia desde el centroide del perfil a su borde en “y”, y (mm). Distancia del perfil seleccionado en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Radio de giro en “x” del perfil, r_{x_p} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “x” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Radio de giro en “y” del perfil, r_{y_p} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “y” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Radio de giro en “z” del perfil, r_{z_p} (mm): Radio de giro para el individuo respecto al eje centroidal “z” del perfil seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.
- Inercia en “x” del perfil, I_x (mm^4): Inercia del perfil respecto al eje centroidal “x” de su sección transversal seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.

- Inercia en “y” del perfil, I_y (mm⁴): Inercia del perfil respecto al eje centroidal “y” de su sección transversal seleccionado por el usuario en el módulo Diseño del cordón inferior.

4.5.15 Módulo Aprendiendo VBA

Figura 51. Módulo Aprendiendo VBA



El módulo Aprendiendo VBA es un módulo secundario. Las opciones que este módulo presenta son las siguientes:

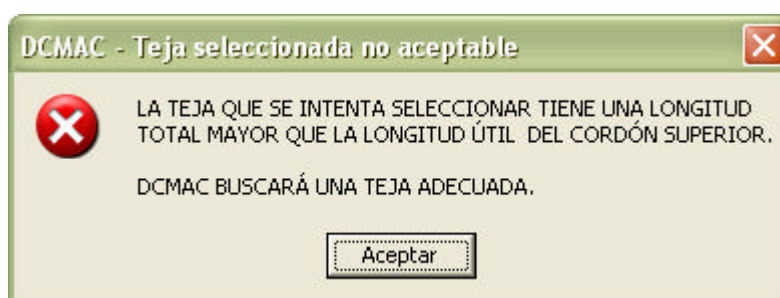
- *Siguiente Tip*: Haciendo clic sobre este botón aparece en pantalla un nuevo Tip para programar, su ejecución es aleatoria y permite visualizar diferentes tips de programación en VBA.
- *Más de Programación*: Este botón permite acceder a un archivo en formato de ayuda acerca de VBA.
- *Controles del módulo*: Dependiendo el módulo de donde se accione esta ayuda, en su entorno se muestran los controles del módulo.

4.5.16 Mensajes de error

- *Teja seleccionada no aceptable*

El siguiente mensaje aparece debido a que se está intentando seleccionar una teja de longitud total mayor que la longitud útil del cordón superior ya que DCMAC solo considera aceptables los diseños con tejas de longitud total menores que la longitud útil del cordón superior:

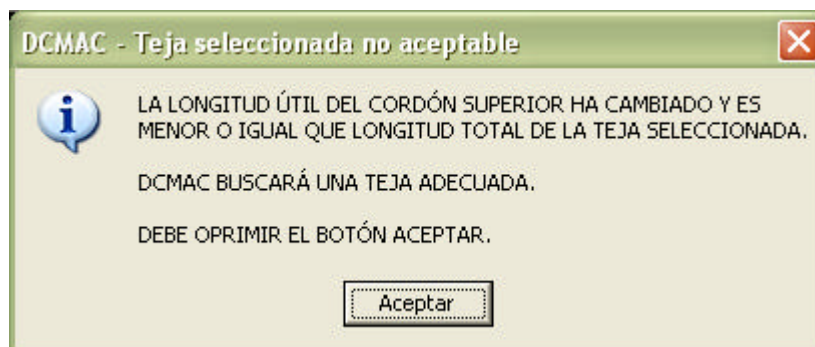
Figura 52. Mensaje de Error 1



El siguiente mensaje aparece cuando se ha modificado la longitud útil del cordón superior resultando esta dimensión menor que la longitud total de teja

seleccionada, lo cual no es aceptable debido a que DCMAC solo considera diseños donde la longitud útil del cordón superior es mayor que la longitud total de la teja seleccionada:

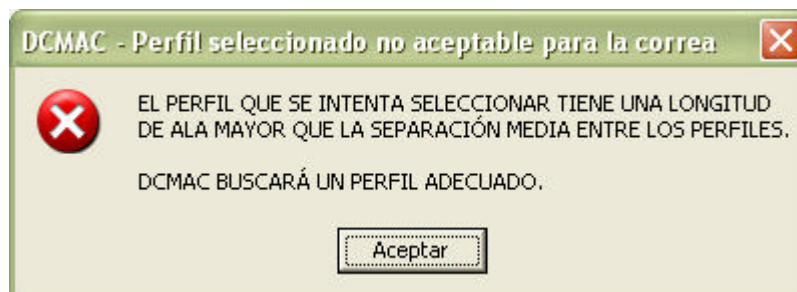
Figura 53. Mensaje de Error 2



- Perfil seleccionado no aceptable para la correa

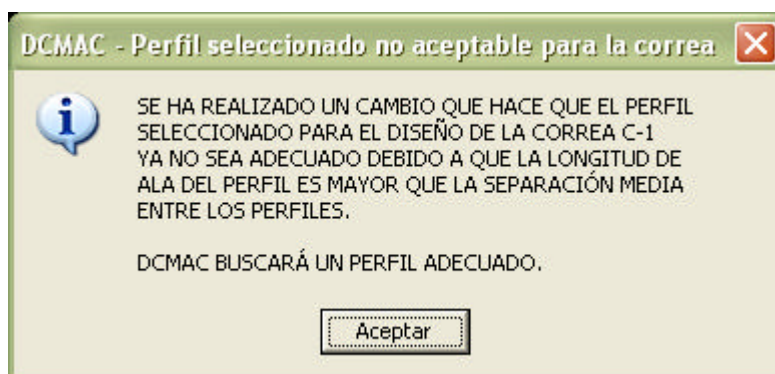
El siguiente mensaje aparece debido a que se está intentando seleccionar un perfil de longitud de ala mayor que la separación media entre los perfiles de la correa:

Figura 54. Mensaje de Error 3



El siguiente mensaje aparece cuando se ha modificado la separación media entre los perfiles de la correa resultando esta dimensión menor que la longitud de ala del perfil seleccionado:

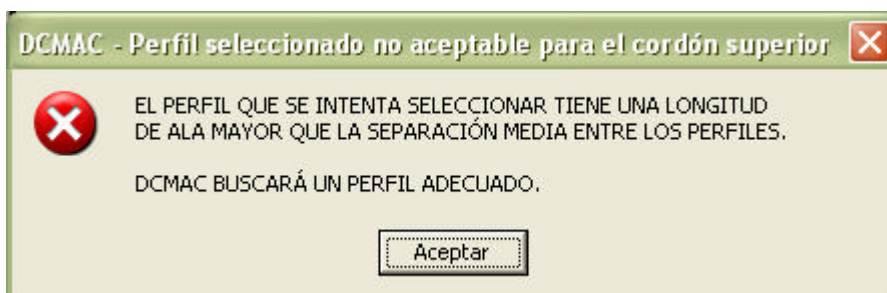
Figura 55. Mensaje de Error 4



- *Perfil seleccionado no aceptable para el cordón superior*

El siguiente mensaje aparece debido a que se está intentando seleccionar un perfil de longitud de ala mayor que la separación media entre los perfiles del cordón superior:

Figura 56. Mensaje de Error 5



- Perfil seleccionado no aceptable para el cordón inferior

El siguiente mensaje aparece debido a que se está intentando seleccionar un perfil de longitud de ala mayor que la separación media entre los perfiles del cordón inferior:

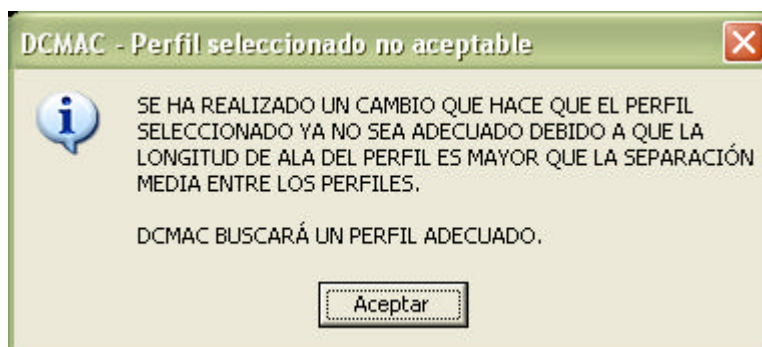
Figura 57. Mensaje de Error 6



- Perfil seleccionado no aceptable

El siguiente mensaje aparece cuando se ha modificado la separación media entre los perfiles de los cordones resultando esta dimensión menor que la longitud de ala del perfil seleccionado para el cordón superior o el cordón inferior:

Figura 58. Mensaje de Error 7



4.6 SECUENCIA DE PROCEDIMIENTOS DE DCMAC PARA EL DISEÑO DE UNA CUBIERTA METÁLICA

1. Selección del tipo de armadura.
2. Selección de la geometría del área a cubrir.
3. Selección del tipo de teja para la cubierta.
 - 3.1 Distribución de la teja principal en el cordón superior de la armadura.
 - 3.2 Selección de la teja complementaria.
4. Selección de la pendiente de la cubierta.
5. Cálculo de las presiones de viento.
6. Cálculo de las cargas y fuerzas en las correas.
7. Selección de la geometría de las correas.
8. Diseño de las correas.
9. Cálculo de las cargas y fuerzas externas en las armaduras.
10. Cálculo de las fuerzas internas en los elementos de las armaduras.
11. Diseño del cordón superior de las armaduras.
12. Diseño del cordón inferior de las armaduras.

4.7 CÁLCULOS Y PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

Teniendo en cuenta la secuencia para el diseño de una cubierta metálica planteada por DCMAC, a continuación se explican los cálculos y procedimientos fundamentales y de mayor complejidad.

4.7.1 Selección de la teja principal

El usuario puede seleccionar cualquier teja como la teja principal si la longitud total de teja es menor que la longitud útil del cordón superior.

4.7.2 Distribución de la teja principal

Una vez el usuario ha seleccionado la marca, el tipo y la referencia de teja deseada, DCMAC realiza una distribución de teja (Distribución automática) de la siguiente manera:

1. Se calcula la relación entre la longitud útil del cordón superior y la longitud útil de teja.
2. Dependiendo del número entero (n) de la relación se hace lo siguiente:
 - a. Si el entero (n) es igual a uno (1) se ubica una sola lámina de teja principal.
 - b. Si el entero (n) es igual a dos (2) se ubica una sola lámina de teja principal.
 - c. Si el entero (n) es mayor que dos (2) y el decimal es menor que cinco (5), se ubica una cantidad de láminas de teja igual al entero menos uno ($n-1$).

- d. Si el entero (n) es mayor que dos (2) y el decimal es mayor o igual que cinco (5), se ubica una cantidad de láminas de teja igual al entero (n).

4.7.3 Selección de la teja complementaria

La selección de teja complementaria se realiza de acuerdo a lo siguiente:

1. El tipo de teja complementaria es el mismo de la teja principal seleccionada por el usuario.
2. DCMAC busca la teja de longitud útil inmediatamente mayor o igual a la distancia resultante de la diferencia entre la longitud útil del cordón superior y la cantidad de veces que se ha ubicado la teja principal multiplicada por su longitud útil, como se muestra a continuación:

Distancia resultante = (Longitud útil del cordón superior) – (Cantidad de veces que se ha ubicado la teja principal * Longitud útil de teja).

3. En caso de no encontrarse una teja que cumpla con el numeral 2, DCMAC agrega una lámina más de teja principal y se repiten nuevamente los pasos 1 y 2 para encontrar la teja complementaria.

DCMAC permite la opción de realizar una distribución de teja principal diferente a la Distribución automática. Esta consiste en agregar una lámina más de teja si la cantidad de veces que se ha ubicado la teja principal es igual al entero menos uno ($n-1$), o permite quitar una lámina de teja si la cantidad de veces que se ha ubicado la teja principal es igual al entero (n). Esta distribución es posible si el entero (n) es mayor que uno (1) y si existe una teja que cumpla con las condiciones para ubicarla como teja complementaria.

4.7.4 Cálculo de las presiones de viento

DCMAC calcula las presiones de viento mediante una serie de procedimientos y cálculos que se explican a continuación.

- Cálculo de coeficientes de presión.

Los coeficientes de presión a barlovento y a sotavento son función de la inclinación de la cubierta y se calculan de acuerdo a la tabla 3.

El coeficiente de presión considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera es una constante equivalente a -0.6 .

Para los edificios con uno o más lados abiertos, DCMAC añade -1.0 a los valores negativos de C_p que aparecen en la tabla 3.

- Cálculo de la presión dinámica del viento (q) (KN/m^2).

La presión dinámica del viento se calcula teniendo en cuenta la tabla 4. con base en la altura desde el nivel del terreno y en la velocidad del viento básico para el sitio definida en el mapa de amenaza eólica: velocidad del viento básico, mostrado en la figura 7.

- Cálculo del coeficiente que tiene en cuenta la densidad del aire (S_4).

El coeficiente S_4 se calcula mediante una interpolación teniendo en cuenta los valores mostrados en la tabla 5 y el valor de la altitud en metros sobre el nivel del mar.

Una vez calculados los valores anteriores, DCMAC calcula las presiones de viento de la siguiente manera:

$$P_b = C_{pb} q S_4$$

$$P_s = C_{ps} q S_4$$

$$P_p = C_{pp} q S_4$$

Donde:

P_b : Presión de viento en dirección barlovento (KN/m²).

P_s : Presión de viento en dirección sotavento (KN/m²).

P_p : Presión considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera (KN/m²).

C_{pb} : Coeficiente de presión en dirección barlovento.

C_{ps} : Coeficiente de presión en dirección sotavento.

C_{pp} : Coeficiente de presión considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera.

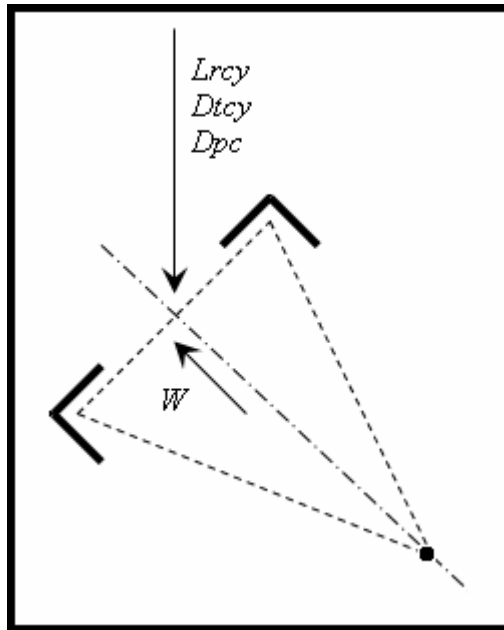
q : Presión dinámica del viento (KN/m²).

S_4 : Coeficiente que tiene en cuenta la densidad del aire.

4.7.5 Cálculo de las cargas y fuerzas en las correas

DCMAC evalúa en las correas los efectos producidos por la carga viva, la carga muerta y la fuerza viento. Dependiendo del diseño de la cubierta se pueden presentar seis tipos de correas diferentes. El procedimiento de cálculo para los diferentes casos es el que se presenta a continuación, teniendo en cuenta las precauciones pertinentes para el cálculo de los valores de cada uno de los ellos.

Figura 59. Cargas distribuidas sobre la correa



4.7.5.1 Cálculo de la carga viva

La carga viva varía dependiendo de la inclinación de la cubierta, de este modo DCMAC calcula la carga viva de la siguiente manera:

Pendiente mayor al 20%: $L_r = 0.35 \text{ KN/m}^2$

Pendiente menor o igual al 20%: $L_r = 0.50 \text{ KN/m}^2$

DCMAC calcula la carga viva linealmente distribuida sobre los diferentes tipos de correas presentes en el diseño así:

$$L_{rcy} = L_r L_{ah}$$

Donde:

L_{rcy} : Carga viva sobre la correa (KN/m).

L_r : Carga viva para cubiertas metálicas inclinadas distribuida por metro cuadrado (KN/m²).

L_{ah} : Longitud aferente horizontal de correa (m).

4.7.5.2 Cálculo de la carga muerta

- Carga muerta por el peso de la teja:

DCMAC calcula la carga muerta por peso de teja linealmente distribuida sobre los diferentes tipos de correas presentes en el diseño así:

$$D_{tcy} = (P_t * g) L_{ac} * \frac{1}{10^3}$$

Donde:

D_{tcy} : Carga muerta correspondiente al peso de teja sobre la correa (KN/m).

P_t : Peso por metro lineal de la teja seleccionada (Kg/m).

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

L_{ac} : Longitud aferente de correa (m).

- Carga muerta por peso de la correa:

Inicialmente DCMAC trabaja un valor para el peso lineal de las correas estimado por el usuario que se ingresa en el módulo análisis de fuerzas en correas.

4.7.5.3 Cálculo de la fuerza de viento

DCMAC calcula la fuerza de viento linealmente distribuida sobre los diferentes tipos de correas presentes en el diseño así:

$$W_{bc} = P_b L_{ac}$$

$$W_{sc} = P_s L_{ac}$$

$$W_{pc} = P_p L_{ac}$$

Donde:

W_{bc} : Fuerza de viento en dirección barlovento sobre las correas (KN/m).

W_{sc} : Fuerza de viento en dirección sotavento sobre las correas (KN/m).

W_{pc} : Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre las correas (KN/m).

P_b : Presión de viento en dirección barlovento (KN/m²).

P_s : Presión de viento en dirección sotavento (KN/m²).

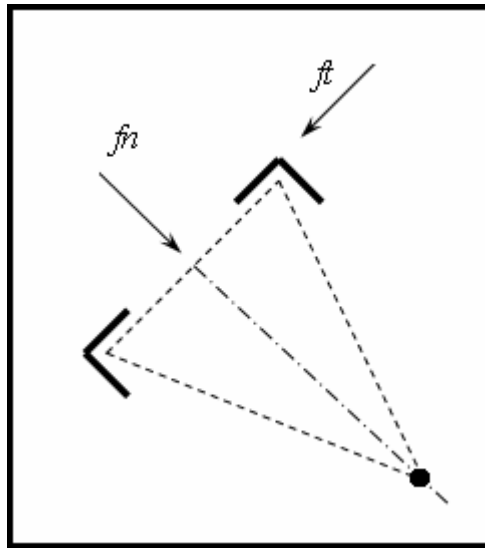
P_p : Presión considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera (KN/m²).

L_{ac} : Longitud aferente de correa (m).

4.7.5.4 Cargas y fuerzas sin amplificar

Una vez calculadas las cargas y las fuerzas distribuidas sobre los diferentes tipos de correas, DCMAC muestra un resumen con los valores de las cargas y fuerzas sin amplificar junto con sus componentes tangencial y normal en el módulo Cargas y fuerzas de diseño de las correas. Los valores mostrados se explican a continuación.

Figura 60. Cargas normales y tangenciales distribuidas en la correa



- Dy correa (KN/m): Carga muerta correspondiente al peso lineal de la correa.

Para el diseño de la correa, DCMAC trabaja un valor para el peso lineal de las correas estimado por el usuario.

- Dn correa (KN/m): Componente normal de carga muerta por peso lineal de la correa.

$$Dpc_N = Dpc_E \cos(\mathbf{b})$$

Donde:

Dpc_N : Componente normal de carga muerta por peso lineal de la correa (KN/m).

Dpc_E : Carga muerta estimada correspondiente al peso lineal de la correa (KN/m).

b : Pendiente de la cubierta (Grados).

- *Dt correa* (KN/m): Componente tangencial de carga muerta por peso lineal de la correa.

$$Dpc_T = Dpc_E \text{ sen}(\mathbf{b})$$

Donde:

Dpc_T :Componente tangencial de carga muerta por peso lineal de la correa (KN/m).

Dpc_E : Carga muerta estimada correspondiente al peso lineal de la correa (KN/m).

b : Pendiente de la cubierta (Grados).

- *Dy teja* (KN/m): Carga muerta correspondiente al peso de teja en la correa.

$$Dtcy = (Pt * g) Lac * \frac{1}{10^3}$$

Donde:

Dtcy : Carga muerta correspondiente al peso de teja sobre la correa (KN/m).

- *Dn teja* (KN/m): Componente normal de carga muerta correspondiente al peso de teja en la correa.

$$Dtcy_N = Dtcy \text{ cos}(\mathbf{b})$$

Donde:

$Dtcy_N$: Componente normal de carga muerta correspondiente al peso de teja en la correa (KN/m).

- $Dt\ teja$ (KN/m): Componente tangencial de carga muerta correspondiente al peso de teja en la correa.

$$Dtcy_T = Dtcy \operatorname{sen}(\mathbf{b})$$

Donde:

$Dtcy_T$: Componente tangencial de carga muerta correspondiente al peso de teja en la correa (KN/m).

- $Dn\ total$ (KN/m): Componente normal de la carga muerta total en la correa.

$$Dc_N = Dtcy_N + Dpc_N$$

Donde:

Dc_N : Componente normal de la carga muerta total en la correa (KN/m).

- $Dt\ total$ (KN/m): Componente tangencial de la carga muerta total en la correa.

$$Dc_T = Dtcy_T + Dpc_T$$

Donde:

Dc_T : Componente tangencial de la carga muerta total en la correa (KN/m).

- Lry (KN/m): Carga viva.

$$Lrcy = Lr Lah$$

Donde:

$Lrcy$: Carga viva sobre la correa (KN/m).

- Lrn (KN/m): Componente normal de carga viva en la correa.

$$Lrcy_N = Lrcy \cos(\mathbf{b})$$

Donde:

$Lrcy_N$: Componente normal de carga viva en la correa (KN/m).

- Lrt (KN/m): Componente tangencial de carga viva en la correa.

$$Lrcy_T = Lrcy \sen(\mathbf{b})$$

Donde:

$Lrcy_T$: Componente tangencial de carga viva en la correa (KN/m).

- W_b (KN/m): Fuerza de viento en dirección barlovento.

$$W_{bc} = P_b L_{ac}$$

Donde:

W_{bc} : Fuerza de viento en dirección barlovento sobre las correas (KN/m).

- W_s (KN/m): Fuerza de viento en dirección sotavento.

$$W_{sc} = P_s L_{ac}$$

Donde:

W_{sc} : Fuerza de viento en dirección sotavento sobre las correas (KN/m).

- W_p (KN/m): Fuerza de viento por paralelo.

$$W_{pc} = P_p L_{ac}$$

Donde:

W_{pc} : Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre las correas (KN/m).

4.7.5.5 Cargas y fuerzas amplificadas

Luego de calcular las cargas y fuerzas sobre las correas, DCMAC evalúa las combinaciones de carga con el fin de establecer para cada una de ellas la sumatoria de fuerzas normales y tangenciales; para ello, DCMAC amplifica los

valores de carga muerta, carga viva y fuerza de viento por los factores de carga de la combinación correspondiente y muestra los valores para cada combinación y para cada tipo de correa en el módulo Cargas y fuerzas de diseño de las correas. La sumatoria de fuerzas normales y tangenciales se calcula de la siguiente manera:

- *Sumatoria n* (KN/m): Sumatoria de las cargas y fuerzas normales sobre la correa amplificadas por el factor de la combinación correspondiente. Debido a que la dirección de la fuerza del viento varía en las combinaciones de carga, según la combinación evaluada, el valor de *Sumatoria n* se calcula de la siguiente manera:

$$S_n = Dc_N + Lrcy_N + Wbc$$

$$S_n = Dc_N + Lrcy_N + Wsc$$

$$S_n = Dc_N + Lrcy_N + Wpc$$

Donde:

S_n: Sumatoria de las carga y fuerzas normales sobre la correa amplificadas por el factor de la combinación correspondiente (KN/m).

Dc_N: Componente normal de la carga muerta total en la correa (KN/m).

Lrcy_N: Componente normal de carga viva en la correa (KN/m).

Wbc: Fuerza de viento en dirección barlovento sobre la correa (KN/m).

Wsc: Fuerza de viento en dirección sotavento sobre la correa (KN/m).

Wpc: Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre la correa (KN/m).

- *Sumatoria t* (KN/m): Sumatoria de las cargas y fuerzas tangenciales amplificadas por el factor de la combinación correspondiente.

$$St = Dc_T + Lrcy_T$$

Donde:

St : Sumatoria de las cargas y fuerzas tangenciales sobre la correa amplificadas por el factor de la combinación correspondiente.

Dc_T : Componente tangencial de la carga muerta total en la correa (KN/m²).

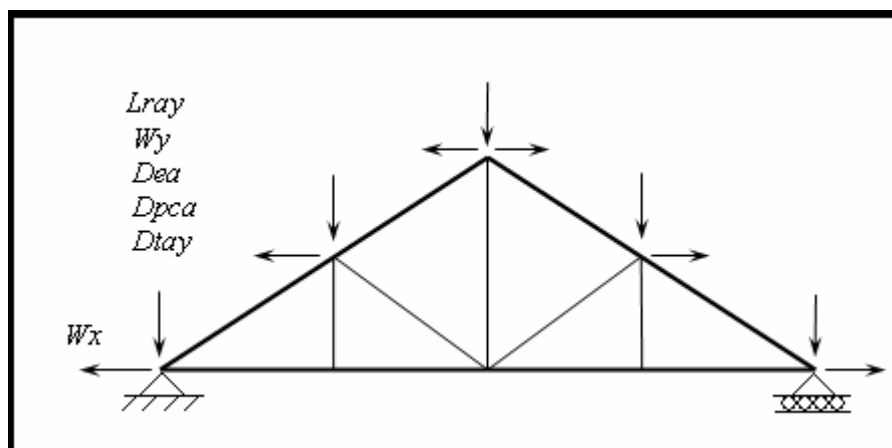
$Lrcy_T$: Componente tangencial de carga viva en la correa (KN/m).

Después de evaluar las combinaciones de carga sobre los diferentes tipos de correas presentes en el diseño, DCMAC selecciona la combinación de carga con la mayor fuerza normal y la combinación de carga con la mayor fuerza tangencial, y muestra en el módulo de Cargas y fuerzas de diseño de las correas estas dos combinaciones con sus respectivas fuerzas normal y tangencial. DCMAC diseña las correas teniendo en cuenta la combinación de la mayor fuerza normal con su fuerza tangencial correspondiente y la combinación de la mayor fuerza tangencial con su fuerza normal correspondiente.

4.7.6 Cálculo de las cargas y fuerzas externas en las armaduras

DCMAC tiene en cuenta para el diseño de las armaduras la carga viva, la carga muerta y la fuerza de viento. Dependiendo del diseño de la cubierta se pueden presentar armaduras de extremo y armaduras intermedias. El procedimiento de cálculo para ambos casos es el que se presenta a continuación, teniendo en cuenta las precauciones pertinentes para el cálculo de los valores en cada uno de los casos.

Figura 61. Cargas y fuerzas sobre la armadura



4.7.6.1 Cálculo de la carga viva

La carga viva se aplica puntualmente en los nodos de la armadura que están cargados con correas. El cálculo que realiza DCMAC es el siguiente:

$$L_{ray} = L_{rcy} \cdot L_{aa}$$

Donde:

L_{ray} : Carga viva puntual aplicada en la armadura (KN).

L_{rcy} : Carga viva sobre la correa (KN/m).

L_{aa} : Longitud aferente de armadura (m).

4.7.6.2 Cálculo de la carga muerta

- Carga muerta por el peso de la teja:

La carga muerta por peso de teja se aplica puntualmente en los nodos de la armadura que están cargados con correas. El cálculo que realiza DCMAC es el siguiente:

$$D_{tay} = D_{tcy} L_{aa}$$

Donde:

D_{tay} : Carga muerta puntual correspondiente al peso de teja sobre la armadura (KN).

D_{tcy} : Carga muerta correspondiente al peso de teja sobre la correa (KN/m)

- *Carga muerta por el peso de la correa:*

La carga muerta por el peso de las correas se aplica puntualmente en los nodos de la armadura cargados con correas. El cálculo que realiza DCMAC es el siguiente:

$$D_{pca} = D_{rpc} L_{aa}$$

Donde:

D_{pca} : Carga muerta puntual correspondiente al peso lineal de las correas sobre la armadura. (KN).

D_{rpc} : Carga muerta real aproximada correspondiente al peso lineal de la correa (KN/m).

- *Carga muerta por peso de los elementos de la armadura.*

La carga muerta por el peso de los elementos de la armadura se aplica puntualmente en todos los nodos de la armadura. En el módulo Análisis de fuerzas en armaduras el usuario ingresa una estimación del peso lineal

promedio de los elementos de las armaduras que DCMAC tiene en cuenta para el análisis estático de las mismas. Para el cálculo de la carga muerta por peso de los elementos en cada uno de los nodos de la armadura, DCMAC tiene en cuenta la mitad del peso de los elementos que llegan al mismo nodo; de este modo, el cálculo para determinar la carga en cada uno de los nodos de la armadura es el siguiente:

$$Dea = \sum_1^n l_i P_i$$

Donde:

Dea :Carga muerta puntual correspondiente al peso de los elementos de la armadura (KN).

li :Longitud de cada elemento de la armadura que llega al nodo en cuestión (m).

Pi : Peso lineal promedio de los elementos de la armadura (KN/m).

n : Subíndice que significa el número de elementos que llegan al nodo en cuestión.

4.7.6.3 Cálculo de las fuerza de viento

La fuerza de viento se aplica puntualmente en los nodos de la armadura que están cargados con correas. El cálculo que realiza DCMAC es el siguiente:

$$Wba = Wbc \ Laa$$

$$Wsa = Wsc \ Laa$$

$$Wpa = Wpc \ Laa$$

Donde:

W_{ba} : Fuerza de viento en dirección barlovento sobre la armadura (KN).

W_{sa} : Fuerza de viento en dirección sotavento sobre la armadura (KN).

W_{pa} : Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre la armadura (KN).

W_{bc} : Fuerza de viento en dirección barlovento sobre la correa (KN/m).

W_{sc} : Fuerza de viento en dirección sotavento sobre la correa (KN/m).

W_{pc} : Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre la correa (KN/m).

L_{aa} : Longitud aferente de armadura (m).

4.7.6.4 Cargas y fuerzas sin amplificar

Una vez calculadas las cargas y las fuerzas puntuales en cada uno de los nodos de las armaduras, DCMAC muestra en los módulos Estática de armadura de extremo y Estática de armadura intermedia, dado el caso, los valores de las cargas y fuerzas para cada nodo. A continuación se muestran los valores sin amplificar.

- D (KN): Carga muerta total en cada uno de los nodos de la armadura.

$$Da_T = D_{tay} + D_{pca} + D_{ea}$$

Donde:

Da_T : Carga muerta total en cada uno de los nodos de la armadura.

D_{tay} : Carga muerta puntual correspondiente al peso de teja sobre la armadura (KN).

D_{pca} : Carga muerta puntual correspondiente al peso lineal de las correas sobre la armadura. (KN).

Dea :Carga muerta puntual correspondiente al peso de los elementos de la armadura en cada nodo (KN).

- *Da* (KN): Carga muerta debido a la sumatoria de la mitad del peso de los elementos que llegan al nodo.

$$Dea = \sum_1^n l_i P_i$$

- *Dc* (KN): Carga muerta debido al peso propio de las correas en los nodos de la armadura cargados con correas.

$$Dpca = Drpc \cdot Laa$$

- *Dt* (KN): Carga muerta debido al peso de la teja en los nodos de la armadura cargados con correas.

$$Dtay = Dtcy \cdot Laa$$

- *Lr* (KN): Carga viva en los nodos de la armadura cargados con correas.

$$Lray = Lrcy \cdot Laa$$

- *Wx* (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección “x” en los nodos de la armadura cargados con correas.

DCMAC considera la dirección del viento y la ubicación de lo apoyos de la armadura en las combinaciones que evalúan la acción del viento. Los apoyos de la armadura son de primer orden y de segundo orden; de este modo las combinaciones de carga con el término *Wsp* cargarán los nodos del cordón superior que van desde el apoyo de segundo orden a

la cumbrera con la componente de fuerza en dirección barlovento y los nodos del cordón superior que van desde el apoyo primer orden a la cumbrera con la componente de fuerza en dirección sotavento; mientras que las combinaciones de carga con el término Wps cargarán los nodos del cordón superior que van desde el apoyo de primer orden a la cumbrera con la componente de fuerza en dirección barlovento y los nodos del cordón superior que van desde el apoyo de segundo orden a la cumbrera con la componente de fuerza en dirección sotavento. Las combinaciones de carga con el término Wp cargarán los nodos del cordón superior con la componente de fuerza en dirección paralela a la cumbrera.

Teniendo en cuenta lo anterior:

$$Wba_x = Wba \operatorname{sen}(B)$$

$$Wsa_x = Wsa \operatorname{sen}(b)$$

$$Wpa_x = Wpa \operatorname{sen}(b)$$

Donde:

Wba_x : Componente de la fuerza de viento a barlovento sobre los nodos de la armadura en dirección "x" (KN).

Wsa_x : Componente de la fuerza de viento a barlovento sobre las armaduras en dirección "x" (KN).

Wpa_x : Componente de la fuerza de viento soplando en dirección paralela a la cumbrera y en dirección "x" sobre las armaduras (KN).

Wba : Fuerza de viento a barlovento sobre las armaduras (KN).

Wsa : Fuerza de viento a sotavento sobre las armaduras (KN).

Wpa : Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre las armaduras (KN).

b : Pendiente de la cubierta (Grados).

- W_y (KN): Componente de la fuerza de viento en la dirección “y” en los nodos de la armadura cargados con correas.

$$Wba_y = Wba \cos(B)$$

$$Wsa_y = Wsa \cos(\mathbf{b})$$

$$Wpa_y = Wpa \cos(\mathbf{b})$$

Donde:

Wba_y : Componente de la fuerza de viento a barlovento sobre los nodos de la armadura en dirección “y” (KN).

Wsa_y : Componente de la fuerza de viento a barlovento sobre las armaduras en dirección “y” (KN).

Wpa_y : Componente de la fuerza de viento soplando en dirección paralela a la cumbrera y en dirección “y” sobre las armaduras (KN).

Wba : Fuerza de viento a barlovento sobre las armaduras (KN).

Wsa : Fuerza de viento a sotavento sobre las armaduras (KN).

Wpa : Fuerza de viento considerando el viento soplando en dirección paralela a la cumbrera sobre las armaduras (KN).

b : Pendiente de la cubierta (Grados).

4.7.6.5 Cargas y fuerzas amplificadas

DCMAC amplifica los valores de carga viva, carga muerta y fuerza de viento por los factores de las combinaciones de carga correspondientes con el fin de calcular las sumatorias de fuerzas externas que llegan a los nodos en las

direcciones “x” y “y” respectivamente. Las sumatorias F_{ex} y F_{ey} también se muestran en los módulos Estática de armadura de extremo y Estática de armadura intermedia.

4.7.7 Cálculo de las fuerzas internas en los elementos de las armaduras

DCMAC realiza un análisis estático para cada combinación de carga teniendo en cuenta una armadura estáticamente determinada, tal como lo muestra la figura 53.

Para cada combinación seleccionada en el módulo Estática de armadura de extremo o Estática de armadura intermedia dado el caso, DCMAC calcula las reacciones de la armadura y la fuerza mayor en el cordón superior y en el cordón inferior.

Además, teniendo en cuenta la combinación de carga que presenta las mayores solicitaciones en la armadura, DCMAC calcula las fuerzas de diseño del cordón superior y del cordón inferior, y las muestra en los módulos Estática de armadura de extremo y Estática de armadura intermedia.

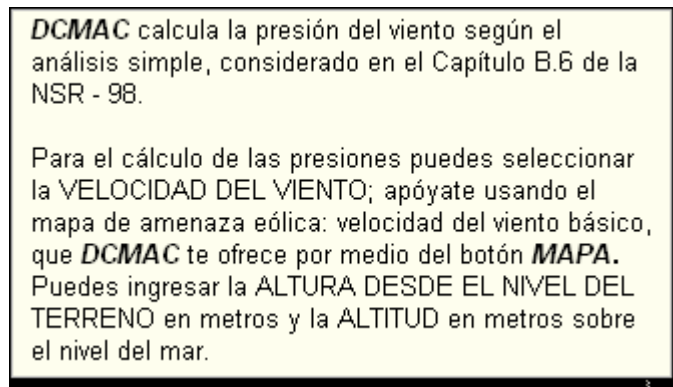
4.8 AYUDAS DE DCMAC

DCMAC cuenta con diferentes ayudas que permiten al usuario la fácil aplicación del programa, el entendimiento de sus procedimientos y cálculos, una guía virtual a través del diseño de cubiertas metálicas y una ayuda para conocer acerca de herramientas computacionales.

4.8.1 Tutor Virtual

El tutor virtual es una herramienta de DCMAC que sirve como guía para el usuario a través de cada uno de sus módulos. Su aplicación es de suma importancia con el fin de lograr un buen manejo del programa y de entender el procedimiento de diseño que se plantea.

Figura 62. Ayuda Tutor virtual



4.8.2 VBA (Visual Basic for Applications)

Esta ayuda permite conocer al usuario acerca del lenguaje de Visual Basic for Applications a través de diferentes opciones como lo son:

- *Tips de programación*: Son pequeñas explicaciones acerca de las propiedades, objetos, eventos, funciones, métodos, constantes y operadores propios de Visual Basic for Applications. DCMAC cuenta aproximadamente con más de 300 tips de programación.
- *Aplicaciones de VBA en Ingeniería civil*: DCMAC cuenta con 8 diferentes aplicaciones de Ingeniería Civil, programadas en Visual Basic for Applications

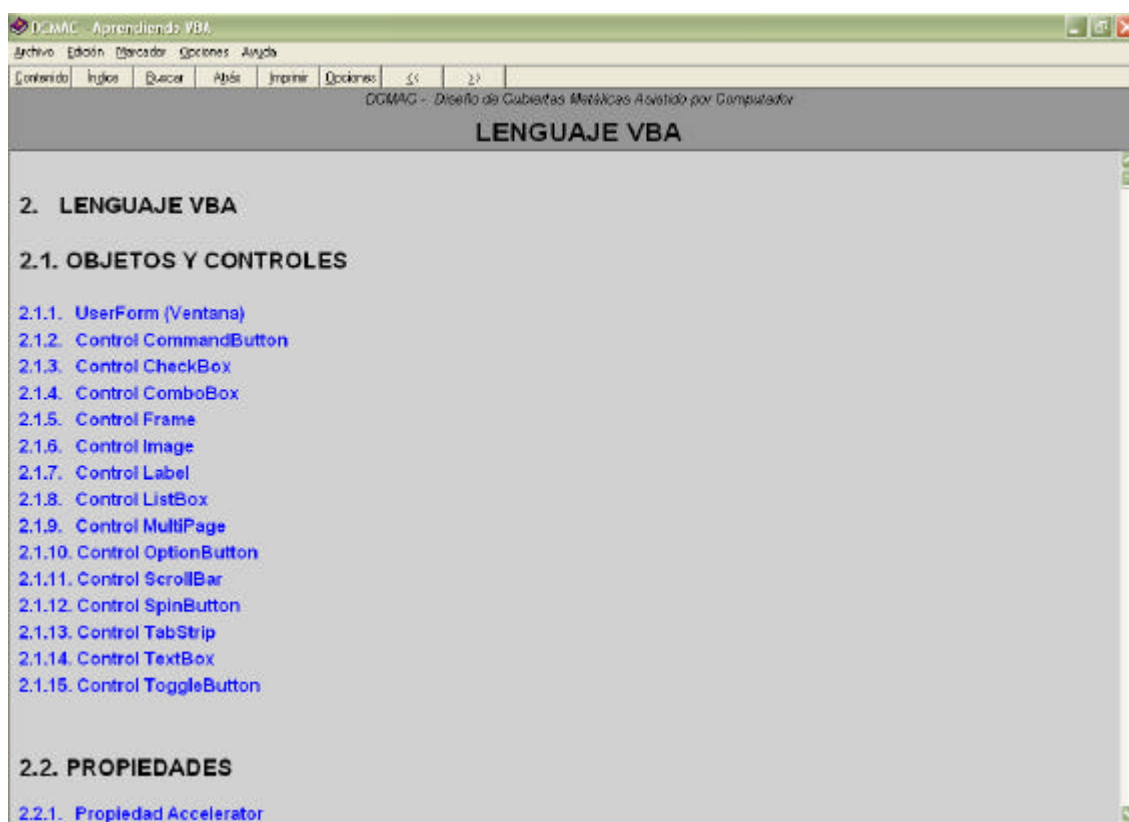
en las cuales se permite observar la lectura del código correspondiente para que el usuario vaya aprendiendo y entendiendo como funcionan y como se programan las aplicaciones en VBA.

Figura 63. Aplicaciones de VBA



Desde el archivo, en formato de ayuda, el cual se abre desde el botón *Más de programación*, se pueden lanzar las aplicaciones haciendo clic en los enlaces respectivos.

Figura 64. Lenguaje VBA



4.8.3 Teoría de Estructuras Metálicas

DCMAC permite abrir un archivo en formato de ayuda que cuenta con la teoría de Estructuras metálicas aplicable al diseño de las Cubiertas metálicas.

Cada módulo de DCMAC cuenta con un enlace que permite visualizar la teoría de Estructuras metálicas correspondiente al módulo, además de un enlace a la teoría general de Estructuras metálicas.

Figura 65. Teoría de Estructuras Metálicas

Teoría de Estructuras Metálicas

Archivo Edición Marcador Opciones Ayuda

Contenido Inicio Búsqueda Abrir Opciones << >>

DCMAC - Diseño de Cubiertas Metálicas Asistido por Computador

1.3 DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD)

Inclinación de la cubierta (grados)	Barlovento	Sotavento
0 - 10.0	- 0.8	- 0.5
10.1 - 20.0	- 0.7	- 0.5
20.1 - 30.0	- 0.4	- 0.5
30.1 - 40.0	- 0.1	- 0.5
40.1 - 50.0	+ 0.2	- 0.5
50.1 - 60.0	+ 0.5	- 0.5
60.1 - 70.0	+ 0.7	- 0.5
70.1 - 80.0	+ 0.8	- 0.5

Tabla 1.3.4.4.1 Valores de C_p para superficies inclinadas.

Para el cálculo de la presión dinámica del viento, hay que tener en cuenta la tabla 1.3.4.4.2 que indica los valores de presión dinámica para diferentes alturas de la estructura y velocidades de viento según la localización geográfica que se estiman considerando la figura 1.3.4.4.1.

Altura (m)	Velocidad (kph) ²						
	60	70	80	90	100	110	120
0 - 10	0.20	0.27	0.35	0.45	0.55	0.67	0.79
10 - 20	0.22	0.30	0.40	0.50	0.62	0.75	0.89
20 - 40	0.27	0.37	0.48	0.61	0.75	0.91	1.08
40 - 80	0.33	0.45	0.59	0.74	0.92	1.11	1.32
80 - 150	0.40	0.54	0.71	0.90	1.11	1.34	1.59
> 150	0.50	0.68	0.88	1.12	1.38	1.67	1.99

Tabla 1.3.4.4.2 Valores de q en (kN/m^2) .

4.8.4 Manual DCMAC

El manual DCMAC es un archivo en formato de ayuda en el cual se muestra todo lo concerniente a DCMAC, entre ellos los cálculos y procedimientos que este realiza.

Cada módulo principal de DCMAC cuenta con un enlace que permite visualizar la explicación del entorno visual del módulo correspondiente.

4.9 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Sistema Operativo: Windows 98 y superiores.

Memoria RAM: 128

Capacidad en disco: 80 MB.

Monitor con resolución de pantalla de 1024 x 768.

CONCLUSIONES

- Se logró implementar el desarrollo computacional del algoritmo para el diseño y análisis de cubiertas metálicas por el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia en un *software* al que se ha denominado *DCMAC, Diseño de Cubiertas Metálicas Asistido por Computador*.
- Considerando la importancia que la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER da a la academia, se ha logrado implementar el *software* con un enfoque académico por medio de diversas ayudas como lo son las explicaciones de los procedimientos del *software*, un tutor virtual y la recopilación de la teoría de estructuras metálicas aplicable al diseño de las cubiertas metálicas.
- Considerando que la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER forma ingenieros civiles con el propósito de servir laboralmente en el ámbito regional y nacional, se ha enfocado el *software* al modelamiento de cubiertas metálicas bajo situaciones reales para el diseño considerando la normatividad nacional NSR-98 y productos comerciales necesarios para el diseño de cualquier cubierta.
- Las diferentes opciones posibles para el diseño de cubiertas metálicas y todos los detalles que para ello puedan tenerse en cuenta, han sido el factor determinante por el cual se ha desarrollado un *software* bajo la consideración de la posibilidad de implementar futuras mejoras en él y así continuar con su desarrollo más allá del alcance de un proyecto de grado; por lo tanto, *DCMAC* se deberá ver como un *software* base y no simplemente como básico.

- Por medio de *DCMAC*, se han podido diseñar cubiertas metálicas de una manera efectiva, precisa y ágil debido a que la interacción visual de los datos de entrada y salida muestran instantáneamente el estado actual del diseño y permiten hacer las modificaciones necesarias para optimizarlo.
- Teniendo en cuenta al posible usuario y buscando su aceptación para con el *software*, éste se ha desarrollado bajo un entorno computacional que permite la cómoda interacción visual, tanto gráfica como textual, con el usuario.
- La temática en la cual el *software* está basado ha sido contemplada desde la asignatura de Diseño de Estructuras Metálicas, lo que ha demostrado la excelente calidad de la asignatura; a su vez, el *software* ha sido desarrollado de una manera tal que permite una interacción entre su entorno, la teoría de estructuras metálicas aplicada en cada uno de sus módulos y la explicación de sus cálculos y procedimientos, concluyendo que *DCMAC* puede ser una herramienta didáctica y virtual para la enseñanza básica de estructuras metálicas.
- *DCMAC* ha nacido como un pequeño pero importante aporte de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER a la tecnología y computación aplicadas en el campo laboral de la Ingeniería Civil, con miras a desarrollarse en un futuro cercano.
- Se ha alcanzado la meta de crear, diseñar, desarrollar y programar una aplicación computacional por parte de sólo estudiantes de Ingeniería Civil, demostrando que las herramientas computacionales también ayudan a la renovación y progreso de las metodologías aplicadas en el mismo campo.

- También se podrá esperar, en un futuro cercano, que este proyecto resulte en un incentivo en los estudiantes de Ingeniería Civil por aplicar las herramientas computacionales como lo hicieron los autores del mismo proyecto.

RECOMENDACIONES

- Aplicación computacional para el cálculo de deflexiones en correas.
- Aplicación computacional para el diseño de parales y diagonales.
- Aplicación computacional para el diseño de correas de sección apta para fuerzas ascensionales.
- Aplicación computacional para los análisis del cordón inferior por Fractura en área neta y Bloque de cortante.
- Aplicación computacional del algoritmo para el diseño y análisis de cubiertas metálicas por el método de diseño por esfuerzos admisibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Mc. Cormac J, Nelson J. Diseño de Estructuras metálicas: Método LRFD. 2ª ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A.; 2004. P. 7-12, 17-19, 63-112, 353-367, 431-448.
- Segui W. Diseño de Estructuras de acero con LRFD. 2ª ed. Internacional Thomson Editores. P. 32-71, 290-353.
- Beer F, Johnston E. Mecánica vectorial para ingenieros: Estática. 5ª ed. Mc. Graw Hill; 1990. P. 222-231.
- Parker H. Diseño simplificado de armaduras de techo para arquitectos y constructores. 11ª ed. Editorial Limusa; 1991. P. 61-68.
- Williams C, Harris E. Diseño de estructuras metálicas. 2ª ed. Compañía editorial Continental, S.A.; 1973. P. 353-355.
- Hernández G, Pérez F. Aplicación del computador en la solución de estructuras metálicas [Tesis de grado]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánicas; 1987. P. 3-6.